

**SPEZIFISCHE EFFEKTE
VISUELLER UND KOGNITIVER ABLENKUNG
BEI DER KRAFTFAHRZEUGFÜHRUNG**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

im Fach Psychologie

eingereicht an der

Mathematisch - Naturwissenschaftlichen Fakultät II

der Humboldt - Universität zu Berlin

von

Dipl. - Psych. Jan Meinel

Präsident der Humboldt - Universität zu Berlin

Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dekan der Mathematisch - Naturwissenschaftlichen Fakultät II

Prof. Dr. Elmar Kullke

Gutachter

1. Prof. Dr. Hartmut Wandke

2. Prof. Dr. Torsten Schubert

3. Prof. Dr. Josef F. Krems

Tag der Verteidigung: 19.10.2012

Meinen Eltern.

Danksagung

Ich danke Herrn Dr. Carsten Bock, Herrn Albrecht Böttiger, Herrn Dr. Julian Broy, Frau Sigrid Engel, Frau Kerstin Hampel, Herrn Rolf Hartmann, Herrn Dr.-Ing. Lutz Krauß, Herrn Dr.-Ing. Lars Lewandowitz, Herrn Prof. Hartmut Wandke und ganz besonders den Versuchspersonen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen der Kraftfahrzeugführung und Fahrerablenkung	5
2.1	Kraftfahrzeugführung	5
2.1.1	Theorien der Kraftfahrzeugführung	5
2.1.2	Das Drei-Ebenen-Modell der Kraftfahrzeugführung	9
2.1.3	Aufgabenstruktur der Kraftfahrzeugführung	11
2.2	Fahrerablenkung	12
2.2.1	Psychologische Theorien der Fahrerablenkung	12
2.2.2	Integration der Ablenkungstheorien	19
2.2.3	Annahme spezifischer Ablenkungseffekte	22
2.2.4	Messung von Fahrerablenkung – Das Doppelaufgabenparadigma	27
3	Fragestellung und allgemeine Hypothesen	33
4	Experimentelle Untersuchung	37
4.1	Zusammenfassung der experimentellen Untersuchungen	37
4.2	Versuch 1 – Erfassung visueller Ablenkung	39
4.2.1	Einführung	39
4.2.2	Methode	40
4.2.3	Ergebnisse	51
4.2.4	Diskussion	62
4.3	Versuch 2 – Erfassung visueller Ablenkung mit angepasster Messmethode	69
4.3.1	Einführung	69
4.3.2	Methode	69
4.3.3	Ergebnisse	77
4.3.4	Diskussion	82
4.4	Versuch 3 – Erfassung kognitiver Ablenkung	86
4.4.1	Einführung	86
4.4.2	Methode	87
4.4.3	Ergebnisse	96
4.4.4	Diskussion	105
4.5	Versuch 4 – Erfassung kognitiver Ablenkung mit angepasster Messmethode	111
4.5.1	Einführung	111
4.5.2	Methode	111
4.5.3	Ergebnisse	119
4.5.4	Diskussion	125
5	Gesamtdiskussion	131
	Literaturverzeichnis	139
A	Anhang zur experimentellen Untersuchung	147
A.1	Anhang zu Versuch 1	147

II Inhaltsverzeichnis

A.1.1	Primäraufgabe	147
A.1.2	Zweitaufgaben	151
A.2	Anhang zu Versuch 2	153
A.2.1	Primäraufgabe	153
A.2.2	Zweitaufgaben	155
A.3	Anhang zu Versuch 3	156
A.3.1	Primäraufgabe	156
A.3.2	Zweitaufgaben	157
A.4	Anhang zu Versuch 4	161
A.4.1	Versuchsmaterial	161
A.4.2	Primäraufgabe	171
A.4.3	Zweitaufgaben	172

Abbildungsverzeichnis

2.1	Das Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (Michon, 1985).	10
2.2	Theorie multipler Ressourcen (Wickens, 2002).	14
2.3	Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung (modifizierte Darstellung aus Wickens, 2002 und Wickens & Hollands, 2000).	15
3.1	Gegenüberstellung der Ebenen der Fahrzeugführung und der Ebenen der Verhaltensregulation und daraus abgeleitete Operationalisierungen visueller und kognitiver Ablenkungseffekte.	34
4.1	Stufen der Informationsverarbeitung mit optischer Betonung des Untersuchungsschwerpunkts des erstens Versuchs (modifiziert aus Wickens, 2002 und Wickens & Hollands, 2000).	39
4.2	Bildschirmdarstellung der Primäraufgabe des ersten Versuchs.	41
4.3	Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	52
4.4	Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabentyp.	53
4.5	Mittlere Anzahl und Standardfehler falscher Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	55
4.6	Mittlere Anzahl und Standardfehler falscher Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabentyp.	57
4.7	Mittlere Anzahl und Standardfehler verpasster Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	58
4.8	Mittlere Anzahl und Standardfehler verpasster Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabentyp.	58
4.9	Visuelle Suchaufgabe (links einfach, rechts schwer; Zielreiz ist jeweils ein gelbes X, das hier zur besseren Erkennbarkeit umrahmt wurde).	71
4.10	Mittlere Reaktionszeiten sowie Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	78
4.11	Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabentyp.	79
4.12	Zeitliche Darstellung der Ressourcenbeanspruchung bei der Bearbeitung der Primär- und Zweitaufgabe in Versuch 3.	86
4.13	Abschnitte A bis F der Primäraufgabe und ihre Bearbeitungsdauer.	88
4.14	Beispiele der Varianten der Primäraufgabe und ihre Schwierigkeitsgrade (obere Reihe Zahlen, untere Reihe Symbole).	89
4.15	Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Versuchsteil, Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	97
4.16	Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Versuchsteil und Primäraufgabenschwierigkeit.	101

IV Abbildungsverzeichnis

4.17 Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Versuchsteil, Primäraufgabe und Ablenkungsklasse.	102
4.18 Anzahl Versuchspersonen, die das Navigationsziel nicht erreicht haben, getrennt nach Versuchsteil, Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	103
4.19 In Versuch 4 zur Beschriftung der Ausfahrten verwendete Symbole. Die grau dargestellten Symbole wurden nach dem Vorversuch verworfen.	112
4.20 Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	120
4.21 Mittlere Standardabweichungen und Standardfehler der Entscheidungszeiten der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	121
4.22 Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsaufgaben in Millisekunden, getrennt nach Ablenkungsklasse.	122
4.23 Mittlere Anzahl und Standardfehler der Entscheidungsfehler, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).	123
4.24 Mittlere Anzahl und Standardfehler der Entscheidungsfehler, getrennt nach Ablenkungsklasse.	124
4.25 Model of wayfinding while driving (Burns, 1998).	128
A.1 91 Symbolpaare zur Bewertung der Symbolähnlichkeit.	161

Tabellenverzeichnis

2.1	Fahraufgaben der lateralen Kontrolle (eigene Übersetzung aus McRuer, Allen, Weir & Klein, 1977)	5
2.2	Aufgaben bei der Fahrzeugführung (modifiziert aus Timpe, 2001)	11
2.3	Durch Faktorenanalyse ermittelte laterale Prozesse der Informationsverarbeitung (Boles, Bursk, Phillips & Perdelwitz, 2007)	16
2.4	Vereinfachte Konfliktmatrix mit den Ressourcen Perceptual Cognitive (PC) und Response (R) für die beispielhafte Erläuterung der Berechnung von Aufgabeninterferenzen im Rahmen des Computational Model of Task Interference (Wickens, 2002)	24
2.5	Beispielrechnung zur Ermittlung der Gesamtaufgabeninterferenz anhand der Beanspruchungs- und der Konfliktkomponente im Rahmen des Computational Model of Task Interference (Wickens, 2002)	25
2.6	Konfliktmatrix der Dimensionen des Modells multipler Ressourcen am Beispiel der Demand Vectors zweier Aufgaben (Horrey & Wickens, 2003) (V: Visual, A: Auditory, C: Cognitive, R: Response, f: Focal, a: Ambient, s: Spatial, v: Verbal)	26
2.7	Doppelaufgabenmodelle in Anlehnung an Heuer (1996)	28
4.1	Stichprobeneigenschaften des ersten Versuchs	40
4.2	Verwendete Satzaussagen in der Zweitaufgabe Logisches Schließen und die jeweils richtige Antwort (Urteil)	45
4.3	Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen	45
4.4	Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 1 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 3 (maximale Beanspruchung) (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)	47
4.5	Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Doppelaufgaben im Rahmen des Computational Model auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference)	48
4.6	Anzahl von Einzelreaktionen bei den verwendeten Primäraufgabenkonfigurationen in Versuch 1	51
4.7	Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der mittleren Reaktionszeiten richtiger Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel in Millisekunden ($N = 26$)	54
4.8	Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl falscher Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel ($N = 26$)	56
4.9	Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl verpasster Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 26$)	60
4.10	Korrelationen der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz, operationalisiert über die Reaktionszeiten richtiger Reaktionen sowie die Anzahl falscher und verpasster Reaktionen (** $p < .001$)	62

4.11 Stichprobeneigenschaften des zweiten Versuchs	69
4.12 Zweisilbrige Städtenamen (Positive Sets) der drei Versuchsbedingungen der Gedächtnissuchaufgabe (Elemente der Negative Sets: Augsburg, Bayreuth, Berlin, Bremen, Chemnitz, Coburg, Cottbus, Darmstadt, Dortmund, Dresden, Duisburg, Frankfurt, Freiburg, Hamburg, Homburg, Leipzig, Marburg, München, Nürnberg, Rostock, Schweinfurt, Stuttgart, Wolfsburg, Würzburg)	73
4.13 Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen. Es handelt sich dabei immer um eine Doppelaufgabenbedingung der Paarung mit der Primäraufgabe	74
4.14 Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 2 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 3 (maximale Beanspruchung) (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)	75
4.15 Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Doppelaufgaben im Rahmen des Computational Model auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference)	76
4.16 Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel der Primäraufgabe in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 25$)	78
4.17 Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl falscher Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 25$)	80
4.18 Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl verpasster Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 25$)	80
4.19 Korrelationen der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz, operationalisiert über die Reaktionszeiten richtiger Reaktionen sowie die Anzahl falscher und verpasster Reaktionen ($**p < .001$)	82
4.20 Stichprobeneigenschaften des dritten Versuchs	87
4.21 Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen von Versuch 3	90
4.22 Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 3 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 3 (maximale Beanspruchung); Werte in Klammern entsprechen der zu berücksichtigenden Schwierigkeit bei zeitparalleler Aufgabenbearbeitung (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)	93
4.23 Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) des Versuchsteils Zahlen im Rahmen des Computational Model of Task Interference auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference); Werte in Klammern entsprechen der zeitparallelen Aufgabenbearbeitung	94
4.24 Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) des Versuchsteils Symbole im Rahmen des Computational Model of Task Interference auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference), Werte in Klammern entsprechen der zu berücksichtigenden Schwierigkeit bei zeitparalleler Aufgabenbearbeitung	95
4.25 Deskriptive Statistik der mittleren Entscheidungszeiten in ms und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger sowie falscher Navigationsentscheidungen in Millisekunden im Versuchsteil Zahlen, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 19$)	98

4.26	Deskriptive Statistik der mittleren Entscheidungszeiten in ms und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger und falscher Navigationsentscheidungen in Millisekunden im Versuchsteil Symbole, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 20$)	99
4.27	Haupteffekte der Entscheidungszeit in der Primäraufgabe auf der Ebene der Versuchsbedingungen (Doppelaufgabenbedingungen)	99
4.28	Haupteffekte der Entscheidungszeit in der Primäraufgabe auf der Ebene der Ablenkungsklassen (Baseline vs. visuelle vs. kognitive Ablenkung)	101
4.29	Korrelation der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz im Versuchsteil Zahlen, operationalisiert über die Entscheidungszeiten sowie über die Anzahl von Entscheidungsfehlern ($*p < .05$)	105
4.30	Korrelation der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz im Versuchsteil Symbole, operationalisiert über die Entscheidungszeiten sowie über die Anzahl von Entscheidungsfehlern	105
4.31	Stichprobeneigenschaften des vierten Versuchs	111
4.32	Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen	114
4.33	Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 4 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 4 (maximale Beanspruchung); Werte in Klammern entsprechen der zu berücksichtigenden Schwierigkeit bei zeitparalleler Aufgabenbearbeitung (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)	115
4.34	Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) des vierten Versuchs im Rahmen des Computational Model auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference); Werte in Klammern entsprechen der zeitparallelen Aufgabenbearbeitung	116
4.35	Deskriptive Statistik der mittleren Entscheidungszeiten und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe	119
4.36	Einfluss der Variation der Versuchsbedingung auf die Entscheidungszeit in der Primäraufgabe	120
4.37	Deskriptivstatistik der mittleren Standardabweichungen und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Entscheidungszeiten richtiger Entscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe	121
4.38	Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl von Entscheidungsfehlern und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang), getrennt nach Versuchsbedingung ($N = 26$)	123
4.39	Korrelationen der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenzen (operationalisiert über Reaktionszeiten richtiger Reaktionen sowie der Anzahl falscher und verpasster Reaktionen)	125
A.1	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Zweitaufgabe ($*p < .05$)	147
A.2	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Primäraufgabe ($*p < .05$)	147
A.3	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Zweitaufgabe ($*p < .05$)	147
A.4	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Primäraufgabe ($*p < .05$)	148
A.5	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe ($*p < .05$)	148

A.6	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)	148
A.7	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	149
A.8	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)	149
A.9	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	149
A.10	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)	150
A.11	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	150
A.12	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)	150
A.13	Deskriptive Statistik der Anzahl gezählter Zahlen und Zählfehler in der Versuchsbedingung Zählen ($N = 26$)	151
A.14	Deskriptive Statistik der mittleren Antwortzeiten richtiger und falscher Antworten in der Versuchsbedingung Logisches Schließen in <i>ms</i>	151
A.15	Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl Antwortfehler in der Versuchsbedingung Logisches Schließen	152
A.16	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in <i>ms</i> , getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	153
A.17	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in <i>ms</i> , getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	153
A.18	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	153
A.19	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	154
A.20	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	154
A.21	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)	154
A.22	Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten richtiger Antworten in den Zweitaufgaben in <i>ms</i>	155
A.23	Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in den Zweitaufgaben	155
A.24	Deskriptive Statistik der Anzahl verpasster Antworten in den Zweitaufgabenbedingungen mit visueller Suche	155
A.25	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Entscheidungszeiten in der Primäraufgabe in <i>ms</i> , getrennt nach Primäraufgabenschwierigkeit (* $p < .05$)	156
A.26	Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Entscheidungszeiten in der Primäraufgabe in <i>ms</i> , getrennt nach Versuchsbedingung (* $p < .05$)	156
A.27	Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Zahlen in <i>ms</i> ($N = 19$)	157
A.28	Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Symbole in <i>ms</i> ($N = 20$)	157
A.29	Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Zahlen ($N = 19$)	157

A.30 Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Symbole ($N = 20$)	158
A.31 Deskriptive Statistik der Anzahl gezählter Zahlen, getrennt nach Versuchsteil	158
A.32 Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen in <i>ms</i> , getrennt nach Versuchsteil	158
A.33 Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen, getrennt nach Versuchsteil	159
A.34 Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Räumliche Ordnung in <i>ms</i> , getrennt nach Versuchsteil	159
A.35 Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Räumliche Ordnung, getrennt nach Versuchsteil	159
A.36 Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Gedächtnissuche in <i>ms</i> , getrennt nach Versuchsteil	160
A.37 Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Gedächtnissuche, getrennt nach Versuchsteil	160
A.38 Mittlere Ähnlichkeitsbewertung der Symbolpaare der Beurteilungsgruppe 1 (* Ähnlichkeitsbewertung größer als 3 oder nicht signifikant kleiner als Testwert 3, $p > .05$)	162
A.39 Mittlere Ähnlichkeitsbewertung der Symbolpaare der Beurteilungsgruppe 2 (* Ähnlichkeitsbewertung größer als 3 oder nicht signifikant kleiner als Testwert 3, $p > .05$)	163
A.40 Mittlere Ähnlichkeitsbewertung der Symbolpaare der Beurteilungsgruppe 3 (* Ähnlichkeitsbewertung größer als 3 oder nicht signifikant kleiner als Testwert 3, $p > .05$)	164
A.41 Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der mittleren Entscheidungszeiten <i>M</i> in der Primäraufgabe in <i>ms</i> , getrennt nach Versuchsbedingung	171
A.42 Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Standardabweichungen der Entscheidungszeiten <i>SD</i> in der Primäraufgabe in <i>ms</i> , getrennt nach Versuchsbedingung	171
A.43 Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl Entscheidungsfehler in der Primäraufgabe, getrennt nach Versuchsbedingung	171
A.44 Deskriptive Statistik der mittleren Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche in <i>ms</i> ($N = 26$)	172
A.45 Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche ($N = 26$)	172
A.46 Mittelwertvergleiche der Antwortzeiten richtiger Antworten der Aufgabe Visuelle Suche in <i>ms</i> (A-V1, A-V2)	172
A.47 Mittelwertvergleiche der Anzahl falscher Antworten der Aufgabe Visuelle Suche (A-V1, A-V2)	173
A.48 Deskriptive Statistik der mittleren Bearbeitungszeiten der Aufgabe Listensuche in <i>ms</i> ($N = 25$)	173
A.49 Deskriptive Statistik der mittleren Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen in <i>ms</i> ($N = 26$)	173
A.50 Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen ($N = 26$)	174
A.51 Deskriptive Statistik der mittleren Bearbeitungszeiten der Aufgabe Routenplanung in <i>ms</i> ($N = 25$)	174

Zusammenfassung / Abstract

In vier Laborexperimenten wurde versucht, auf der Grundlage der *Theorie multipler Ressourcen* visuelle und kognitive Ablenkung bei der Kraftfahrzeugführung getrennt voneinander zu erfassen. Um die Vorhersagen der Theorie prüfen zu können, sind die zu erwartenden Ablenkungseffekte zuvor mit Hilfe des *Computational Model of Task Interference* geschätzt worden, das die theoretischen Annahmen in eine Berechnungsvorschrift für Aufgabeninterferenzen überträgt. Die Experimente eins und zwei wurden als einfache visuell ablenkende Reaktionsaufgaben an einem Arbeitsplatzrechner realisiert, bei denen die Versuchspersonen unter visueller und unter kognitiver Ablenkung auf den Wechsel von Verkehrszeichen reagierten. Entgegen der Hypothese wurde in Versuch eins die Reaktionsleistung in der Primäraufgabe durch visuelle Ablenkung nicht stärker beeinträchtigt als durch kognitive Ablenkung. Die Wiederholung des Experiments mit überarbeiteten Aufgaben ergab in Versuch zwei eine hypothesenkonforme Trennung zwischen visueller und kognitiver Ablenkung. Die Experimente drei und vier bestanden aus einer kognitiv beanspruchenden Navigationsaufgabe, die ebenfalls an einem Arbeitsplatzrechner unter visueller und kognitiver Ablenkung vollzogen wurde. Die Navigationsaufgabe zeichnete sich dadurch aus, dass visuelle und motorische Störeinflüsse der ablenkenden Zweitaufgaben zum Messzeitpunkt ausgeblendet wurden, um ausschließlich kognitive Interferenzen zu erheben. Weder im dritten Versuch noch in Versuch vier mit einer Zuspitzung der Navigationsaufgabe konnte gezeigt werden, dass kognitive Ablenkung eine kognitiv beanspruchende Navigationsaufgabe stärker beeinträchtigt als visuelle Ablenkung. Die anderslautende Interferenzvorhersage des Computational Models of Task Interference hat sich nicht bestätigt. Die Ergebnisse dieser Arbeit legen nahe, dass visuelle und kognitive Ablenkung nicht als getrennt messbare Phänomene aufgefasst werden können. Einer dementsprechenden Auslegung der Theorie multipler Ressourcen muss für den hier gewählten experimentellen Zugang der Ablenkungsmessung widersprochen werden.

Based on *multiple resource theory*, four laboratory experiments were undertaken in an effort to independently measure visual and cognitive distractions during motor vehicle driving. In order to verify the predictions of the theory, the expected distraction effects were previously assessed with the aid of the *computational model of task interference* incorporating the theoretical assumptions. Experiments one and two were performed as simple visually distracting reaction tasks at a computer workstation, during which the test persons reacted to changing traffic signs while being subjected to visual and cognitive distractions. Contrary to the hypothesis, during experiment one, the reaction performance in the primary task was not impaired more severely through visual distraction than through cognitive distraction. Repetition of the experiment with modified tasks in experiment two revealed a hypothesis-confirming separation between visual and cognitive distractions. Experiments three and four consisted of a cognitively challenging navigation task, which was also performed at a computer workstation with the interference of visual and cognitive distractions. During the navigation task, the visual and motor interferences of the distracting secondary tasks were omitted at the time of measurement in order to record only the cognitive interferences. Neither during the third experiment, nor during experiment four, which involved an added time-pressure element to the navigation task, was it possible to demonstrate that cognitive distraction impairs a cognitively challenging navigation task to a greater extent than a visual distraction. The contrary interference prediction of the computational model of task

XII Zusammenfassung

interference was not confirmed. The results of this study suggest that visual and cognitive distractions cannot be regarded as separately measurable phenomena. A corresponding interpretation of multiple resource theory must therefore be rejected for the experimental approach selected here with regard to distraction measurement.

Kapitel I. Einleitung

Gegenstandsbereich – Eines von zahlreichen Konstruktionszielen bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugen ist die optimale Anpassung der Anzeigen und Bedienelemente des Fahrzeugs an die Leistungsvoraussetzungen des informationsverarbeitenden Systems des Fahrers. Dazu sind in erster Linie die Wahrnehmung und die Kognition zu zählen. Die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug muss in jeder Situation störungsfrei erfolgen können. Der Fahrer darf nicht überlastet und nicht vom Verkehrsgeschehen abgelenkt werden. Das kann zum Beispiel durch eine günstige Positionierung der Anzeigen im Blickfeld des Fahrers erreicht werden sowie durch ein wahrnehmungsfreundliches Design der Anzeigeeinhalte. Der kognitive Aspekt von Fahrerinformationssystemen führt hingegen zu Fragen nach einer verständlichen Bedienlogik, nach angemessenen Bedienmetaphern und nicht zuletzt nach einer inhaltlichen Selbsterklärungsfähigkeit des Systems. Mit zunehmender Verbreitung von Fahrerinformations- und -assistenzsystemen wächst das Interaktionsgeschehen während der Fahrt. Komplexe Anzeigen müssen vom Fahrer erfasst und interpretiert werden. Eine Prüfung und Bewertung der Anzeigen und Interaktionselemente sollte bereits sehr früh und systematisch sowie idealerweise mit objektiven Messmethoden erfolgen. Für die Gestaltung und Prüfung dieser Systeme fordern Krems, Keinath, Baumann und Jahn (2004) deshalb, dass Anzeigen im Fahrzeug hinsichtlich visueller Kriterien, wie Geschwindigkeit und Genauigkeit der Informationsaufnahme, aber auch hinsichtlich kognitiver Prozesse, wie Interpretierbarkeit und Lernaufwand, bewertet werden sollten.

Der visuelle Apparat spielt bei der Kraftfahrzeugführung eine herausragende Rolle. Zahlreiche Studien beschäftigen sich mit visueller Ablenkung während der Fahrt (z. B. Schweigert, 2002; Theofanou, 2002). Oft wird dabei das Blickverhalten des Fahrers mit Hilfe von *Eye Tracking*-Systemen direkt gemessen (siehe Literaturübersicht von Bach, Jäger, Skov & Thomassen, 2009). So zeigte sich zum Beispiel in einer dafür sehr typischen Untersuchung von Metz, Schömig und Krüger (2011), dass visuelle Ablenkung zu häufigen und stetigen Blickwechseln zwischen der visuell beanspruchenden Zweitaufgabe und der Fahraufgabe führt. Um die Anzahl dieser sicherheitskritischen Abwendungen des Blickes von der Fahraufgabe zu verringern, wird gelegentlich der Ansatz verfolgt, die Interaktionsmodalität zu wechseln, indem beispielsweise auf eine Sprachsteuerung ausgewichen wird. Allerdings besteht hierbei die Gefahr, dass visuelle Ablenkung lediglich durch kognitive Ablenkung ersetzt wird, da die Steuerung eines Systems mit Hilfe der Sprache ebenfalls Zuwendung erfordert und nicht ohne Anstrengung erfolgen kann (Bach et al., 2009).

Kognitive Ablenkung wird häufig im Zusammenhang mit dem Telefonieren während der Fahrt diskutiert (z. B. Bellinger, Budde, Machida, Richardson & Berg, 2009; Strayer & Johnston, 2001; Strayer & Drews, 2007). Bellinger et al. (2009) untersuchten, wie sich das Bremsverhalten beim Telefonieren während der Fahrt verändert. Ihre Probanden bremsen bei gleichzeitigem Telefonieren nach erscheinen des auslösenden Hinweisreizes signifikant später als in den Kontrollbedingungen ohne Ablenkung oder unter rein auditorischer Ablenkung durch Darbietung von Musik. In der Untersuchung von Strayer und Johnston (2001) beeinträchtigte eine an das Telefonieren während der Fahrt angelehnte Zusatzaufgabe in einem Simulationsexperiment ebenfalls die Reaktions- und Spurhalteleistung, unabhängig davon, ob eine Freisprecheinrichtung verwendet wurde oder nicht.

In jüngster Zeit richtet sich der Blick auf eine integrierte, aber gleichzeitig differenzierte Betrachtung visueller und kognitiver Ablenkung. Es wird verstärkt danach gefragt, ob visuelle

und kognitive Ablenkung unterscheidbare Effekte auf die Kraftfahrzeugführung haben. So ergab zum Beispiel eine Untersuchung von Trbovich und Harbluk (2003), dass kognitive Zusatzbeanspruchung während der Fahrt ebenfalls zu einem auffälligen und kritischen Blickverhalten führen kann. Die Autoren untersuchten mit Hilfe eines *Eye Tracking*-Systems das Blickverhalten bei der Bearbeitung einer kognitiv beanspruchenden Zusatzaufgabe, die über ein Mobiltelefon mit Freisprecheinrichtung dargeboten und bearbeitet wurde. Die Zusatzaufgabe führte beim Durchfahren einer verkehrsreichen Kreuzung zu einer verminderten Zahl von Blicken auf die relevanten Ampelanlagen.

Liang und Lee (2010) applizierten in einer Fahrsimulatorstudie drei Ablenkungstypen. Unter visueller, unter kognitiver und unter einer kombinierten visuellen und kognitiven Ablenkung sowie ergänzt um eine Bedingung mit keinerlei Ablenkung wurden Fahrleistungsmaße und das Blickverhalten der Versuchsteilnehmer erhoben. Die Autoren identifizierten unterschiedliche Beeinträchtigungsmuster. So führte visuelle Ablenkung zu einer stärkeren Beeinträchtigung der lateralen Kontrolle als kognitive Ablenkung. Außerdem erfolgte das Erkennen von Gefahren verzögert. Kognitive Ablenkung hingegen führte zu ruckartigeren Lenkbewegungen, gleichzeitig aber auch zu einer verbesserten Spurhaltequalität. Vergleichbare Effekte deckten zuvor Östlund, Nilsson, Törnros und Åsa Forsman (2006) auf. Auch hier wurde die laterale Kontrolle des Fahrzeugs unter visueller Ablenkung stärker beeinträchtigt als unter kognitiver Ablenkung. Kognitive Ablenkung führte hingegen zu einer ansteigenden Lenkaktivität und einer stabileren Spurhaltung. Einen sehr innovativen Zugang zur Erfassung von visueller und kognitiver Ablenkung wählten Wesley, Shastri und Pavlidis (2010). Sie lösten sich von den klassischen Leistungsmaßen der Fahrzeugführung und operationalisierten Ablenkungseffekte berührunglos über den Wärmeabdruck des Gesichts. Sie konnten sowohl bei visueller als auch bei kognitiver Ablenkung eine Erhöhung der Gesichtstemperatur messen, wenngleich eine klare Grenzziehung zwischen visueller und kognitiver Ablenkung mit Hilfe dieser Methode noch aussteht.

Anhand dieser und weiterer Untersuchungen (z. B. Baumann, Rösler & Krems, 2009; Victor, 2005) wird deutlich, dass die differenzierte Betrachtung von visuellen und kognitiven Ablenkungseffekten während der Fahrt eine relevante Fragestellung der aktuellen Forschung darstellt, an die mit der vorliegenden Arbeit angeknüpft werden soll. Nach Liang und Lee (2010) sind die Auswirkungen visueller Ablenkung auf das Fahrzeugführungsverhalten sehr gut verstanden: Visuelle Ablenkung beeinträchtigt die laterale Kontrolle des Fahrzeugs. Die Effekte kognitiver Ablenkung sind hingegen widersprüchlicher und weniger stark, da der Varianzanteil des Fahrzeugführungsverhaltens, der durch kognitive Ablenkung verursacht wird, sehr klein ist.

Forschungsziele – Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, zu prüfen, ob visuelle und kognitive Ablenkung während der Fahrzeugführung zwei trennbare Phänome darstellen, die folgerichtig auch getrennt voneinander erfasst werden können. Den theoretischen Rahmen bildet die *Theorie multipler Ressourcen* (Wickens, 2002). Sie macht zum einen sehr elaborierte Aussagen zur Funktionsweise der menschlichen Aufmerksamkeit bei der gleichzeitigen Bearbeitung zweier Aufgaben und somit zur Begründung von spezifischen – auch unterscheidbaren – Ablenkungseffekten. Zum anderen stellt sie ein formales Modell zur Berechnung von Ablenkungs- beziehungsweise Interferenzwirkungen zweier Aufgaben bereit, aus dem sich im Falle seiner Gültigkeit ein einfaches Werkzeug zur Prognose von Ablenkungseffekten ableiten lässt (Wickens, 2002). Gleichzeitig soll mit dieser Arbeit der Grenzbereich zwischen visuell-perzeptiven und kognitiven Prozessen auf der Stufendimension der Theorie multipler Ressourcen näher untersucht werden. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit soll sich bestenfalls ein zuverlässiger methodischer Zugang für die getrennte Messung von visueller und kognitiver Ablenkung ableiten lassen. Dieses Ziel soll durch eine konzeptionell getrennte Operationalisierung der Ablenkungstypen erreicht werden, die die bestehenden Ansätze, der Blickbewegungsmessung und der Messung der longitudinalen sowie lateralen Kontrolle des Fahrzeugs ergänzt.

Aufbau der Arbeit – Nach dieser Einleitung (Kapitel 1) werden in Kapitel 2 der Arbeit die theoretischen Grundlagen der Kraftfahrzeugführung und Fahrerablenkung dargelegt. Dabei wird insbesondere auf das Drei-Ebenen-Modell der Kraftfahrzeugführung eingegangen, aus dessen Ver-

knüpfung mit den Theorien der Handlungsregulation sich unter Berücksichtigung der Theorie multipler Ressourcen (Wickens, 2002) die Fragestellung dieser Arbeit und die allgemeine Untersuchungshypothese in Kapitel 3 ergibt. Im 4. Kapitel werden nach einer kurzen Zusammenfassung der durchgeführten Experimente die vier Teiluntersuchungen ausführlich geschildert. Die Versuche eins und zwei widmen sich der Messung visueller Ablenkung. Der Versuch zwei kann als Anpassung des ersten Versuchs aufgrund der Erkenntnisse aus diesem Versuch verstanden werden. Mit den Versuchen drei und vier wird die Perspektive gewechselt und kognitive Ablenkung näher analysiert. Auch hier repliziert der zweite Versuch (Versuch 4) den ersten Versuch (Versuch 3) unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse. Schließlich werden in Kapitel 5 die Befunde dieser Arbeit gesamthaft diskutiert, und es werden mögliche Anknüpfungspunkte für die weitere Forschung aufgezeigt.

Kapitel II. Grundlagen der Kraftfahrzeugführung und Fahrerablenkung

2.1 Kraftfahrzeugführung

2.1.1 Theorien der Kraftfahrzeugführung

Aus den Überblicksdarstellungen von Michon (1985), Ranney (1994), Keskinen, Hatakka, Laapotti, Katila und Peräaho (2004) und Cacciabue (2007) wird deutlich, dass nahezu jede Domäne im ohnedies stark diversifizierten Forschungsfeld der Kraftfahrzeugführung ihre eigene Theorie bzw. ihre eigene Modellvorstellung des Fahrzeugführungsverhaltens hervorgebracht hat und sich bislang kein generalistisches Modell etablieren konnte. Während Michon (1985) diesen Zustand kritisiert und eine allgemeingültige Theorie anstrebt, betonen Keskinen et al. (2004) die große Komplexität des Forschungsgebietes, die durch kein unitäres Modell hinreichend genau beschrieben werden könne, ohne gleichzeitig an Prädiktionskraft für den Einzelfall einzubüßen. Als wesentliche Theorieströmungen benennen die Autoren, neben weiteren, gleichlautend regelungstechnische Modelle, Motivations- bzw. Risikomodelle, hierarchische Verhaltensmodelle sowie Produktionssysteme bzw. kognitive Architekturen. Der folgende kurze Abriss der zentralen Theorien der Kraftfahrzeugführung bildet das begriffliche Fundament für die im Abschnitt 2.2.1 referierten psychologischen Theorien der Fahrerablenkung.

Regelungstechnische Modelle

Zu den frühesten systematischen Analysen der Kraftfahrzeugführung gehören die Modelle der Regelungstechnik. Sie beschreiben in erster Linie das menschliche Lenkverhalten in Abhängigkeit von visuellen Hinweisreizen des Verkehrsraumes. Sie bleiben also auf die laterale Kontrolle des Fahrzeugs (Querführung) begrenzt (z. B. McRuer et al., 1977; Weir & McRuer, 1970).

Tabelle 2.1
Fahraufgaben der lateralen Kontrolle (eigene Übersetzung aus McRuer et al., 1977)

Aufgabe oder Manöver	Regelungsmodus des Fahrers
Normale Spurführung	kompensatorisch
Präzise Bahnführung	nachfolgend
Kurven, Einmündungen, Engstellen und Ausfahrten	nachfolgend
Spurwechsel	Dual Modus (antizipatorisch-kompensatorisch oder nachfolgend-kompensatorisch)
Überholen und Vorbeifahren	Dual Modus (antizipatorisch-nachfolgend)
Spurwechsel bei Gefahr oder Ausweichmanöver	Dual Modus (antizipatorisch-kompensatorisch)

In Übereinstimmung mit McRuer et al. (1977) unterscheidet Donges (1978) drei Formen des menschlichen Regelverhaltens: kompensatorische (*compensatory*), nachfolgende (*pursuit*) und antizipatorische (*precognitive*) Regelung. Eine kompensatorische Regelung liegt vor, wenn der

Mensch Informationen über Abweichungen von einem vorgegebenen Sollzustand erhält. Durch sein Regelverhalten kompensiert er diese Abweichungen. Bei der nachfolgenden Regelung erhält der Fahrer sowohl Informationen über den aktuell herzustellenden Sollzustand als auch über den momentan erreichten Istzustand. Durch adäquates Regelungsverhalten sorgt er dafür, dass die Regelgröße, die dem Istzustand entspricht, der Führungsgröße, die den Sollzustand widerspiegelt, nachfolgt. Der Fahrer macht sich dafür sein Wissen über die Eingangsgrößen des Systems zu nutze und strukturiert anhand dessen die Fahrt. Er kann beispielsweise seine Kenntnis des Reibwertes des Straßenbelags oder der erforderlichen Lenkkräfte a priori in seine Regelung einkalkulieren. Von antizipatorischer Regelung wird gesprochen, wenn zusätzlich zum aktuellen Zustand Informationen über den zukünftigen Verlauf der Führungs- oder der Regelungsgröße vorliegen, die der Mensch vorausschauend in sein Regelverhalten einfließen lässt. Dazu wird auf gelernte Verhaltensantworten und Entscheidungsregeln zurückgegriffen. Streng genommen handelt es sich bei der antizipatorischen Regelung nicht mehr um einen klassischen Regelvorgang (*closed loop*), sondern um eine Steuerung (*open loop*). Die Tabelle 2.1 zeigt typische kompensatorische, nachfolgende und antizipatorische Fahraufgaben der lateralen Kontrolle, wie sie zum Beispiel mit Hilfe der Reglermodelle von McRuer et al. (1977) beschrieben werden können. Ein ausführlicher Abriss der gängigen regelungstechnischen Fahrzeugführungsmodelle, die inzwischen um Beschreibungen der longitudinalen Kontrolle ergänzt wurden, findet sich sowohl bei Jürgensohn (2007) als auch bei Weir und Chao (2007).

Motivations- bzw. Risikomodelle

Motivationsmodelle der Fahrzeugführung thematisieren fast ausschließlich das Risikoverhalten des Fahrers. Sie werden deshalb synonymisch als Risikomodelle bezeichnet (Michon, 1985). Die Besonderheit dieser Ansätze ist, dass sie sich mit den pathologischen Ausprägungen des Kraftfahrzeugführungsverhaltens beschäftigen, indem sie sich allein auf Fahrfehler oder Unfälle zur Kennzeichnung des Fahrverhaltens stützen (Keskinen et al., 2004). Michon (1985) trennt in drei Hauptklassen von Motivations- bzw. Risikomodellen: *Risk Compensation* (Risikokompensation, vgl. Wilde, 1982, 1988), *Risk Threshold* (Risikoschwellenwert, vgl. von Klebelsberg, 1971, Näätänen & Summala, 1974) und *Threat Avoidance* (Gefahrenvermeidung, vgl. Fuller, 1984). Sie unterscheiden sich in der Art und Weise, wie das wahrgenommene Risikoniveau bewertet wird. Das Risiko wiederum bestimmt die tatsächliche Ausprägung des Fahrverhaltens. Im Grundsatz geht es immer darum, dass Fahrer versuchen, ein Gleichgewicht zwischen den Geschehnissen auf der Straße und dem für sie subjektiv akzeptablen Risiko herzustellen. Da Fahrzeugführungsverhalten zeitlich nahezu vollständig selbstgetaktet erfolgt, sind Motivationsmodelle für Fuller (1984) unter der Zielstellung einer Vergrößerung der Verkehrssicherheit aufschlussreicher als zum Beispiel allgemeinspsychologische Theorien der Wahrnehmung und Motorik. Lange Zeit galten die Theorien der Risikokompensation als einziges umfassendes verkehrspsychologisches Theoriegebäude (Huguenin, 1982).

Hierarchische Verhaltensmodelle

Die beiden bedeutsamsten Modelle von Rasmussen (1983, 1986) und Hacker (1973, 1986) beziehen sich nicht explizit auf die Kraftfahrzeugführung, sondern haben den Anspruch, allgemeingültige Theorien der menschlichen Verhaltensregulation zu sein (Keskinen et al., 2004). Eine integrierte Darstellung der Modelle Hackers und Rasmussens findet sich bei Johannsen (1993, S. 133–138). Im Kern wird in diesen Modellen menschliches Verhalten anhand des Ausmaßes der Inanspruchnahme kognitiver Verarbeitungsprozesse gekennzeichnet. Auf dieser Dimension trennt Rasmussen (1983) zwischen fertigkeitsbasiertem (*skill-based*), regelbasiertem (*rule-based*) und wissensbasiertem (*knowledge-based*) Verhalten. Für die unterste Stufe favorisiert Johannsen (1993) die umfassendere Bezeichnung *sensomotorische Fertigkeiten*, weil er die Verkürzung auf den Begriff *fertigkeitsbasiert* für missverständlich hält. Hacker stellt in seinem Modell der eigentlichen Handlungsrealisierung den Prozess der Handlungsvorbereitung gegenüber.

Auf der Seite der Handlungsvorbereitung finden sich mit der sensomotorischen, der perzeptiv-begrifflichen und der intellektuellen Regulationsebene den Ebenen Rasmussens entsprechende Mechanismen wieder. Die Handlungsvorbereitung aktiviert auf der Seite der Handlungsrealisierung ebenenkomplementär einen Bewegungsentwurf, ein Handlungsschema oder einen Plan (Hacker, 1986). Insbesondere die Gegenüberstellung von fertigkeitsbasiertem und wissensbasiertem Verhalten ähnelt dem von Schneider und Shiffrin (1977) eingeführten Konzept einer Dichotomie von automatischer und kontrollierter Verhaltenssteuerung (Ranney, 1994).

Die Unterscheidung dieser drei Verhaltensregulationsebenen ist eng mit der jeweils spezifischen Umgebungsinformation verknüpft, die das Verhalten auf den einzelnen Stufen anstößt bzw. kontinuierlich leitet. Rasmussen (1983) ordnet jeder Verhaltensebene charakteristische Informationstypen zu, deren Grad der Abstraktion von der physikalischen Welt zunimmt. Fertigkeitsbasiertes Verhalten speist sich aus Signalen (*signals*) der Umgebung. Signale sind fortdauernde Indikatoren ohne semantische Bedeutung, die Aufschluss über raum-zeitliche Zustände und Veränderungen der Situation geben. Sie sind rein physikalischer Natur und werden im Sinne von Abtastsignalen verarbeitet (Johannsen, 1993). Die Informationsgrundlage der regelbasierten Handlungsebene bezeichnet Rasmussen (1983) als Zeichen (*signs*). Zeichen stellen gebündelte Umgebungsinformation dar und aktivieren vordefinierte Verhaltensroutinen. Sie sind durch Konventionen oder aufgrund des Erfahrungshintergrundes an das entsprechende situationsangemessene Verhalten geknüpft. Da Zeichen nicht den nötigen informatorischen Gehalt besitzen, um sich mit ihrer Hilfe in Problemlösungs- oder Schlussfolgerungsprozessen mit der Umgebung auseinanderzusetzen, können auf ihrer Grundlage keine neuen Verhaltensregeln generiert werden. Sie sind lediglich in Form von Etiketten gespeicherte Auslöser für fertigkeitsbasierte Verhaltensbündel. Symbole (*symbols*) sind die Informationsgrundlage für die schlussfolgernde und problemlösende Bewältigung der Situation auf der Ebene des wissensbasierten Verhaltens. Sie verkörpern interne konzeptuelle Repräsentationen der Umwelt und lassen sich am besten in Abgrenzung zu Zeichen charakterisieren: Während Zeichen ein Teil der physikalischen Welt sind, repräsentieren Symbole die subjektive Bedeutung dieser Welt.

Produktionssysteme / Kognitive Architekturen

Kognitive Architekturen stellen den momentan umfassendsten Versuch der Modellierung menschlichen Erlebens und Verhaltens dar. Sie haben den Anspruch, die menschliche Kognition einschließlich perzeptiver und motorischer Prozesse rechnergestützt vollständig algorithmisch nachzubilden (vgl. Newell, 1990, S. 15). Ebenso wie die Modelle der hierarchischen Verhaltenskontrolle (siehe S. 6) sind kognitive Architekturen keine exklusiven Modelle der Kraftfahrzeugführung. Sie sind an der Schnittstelle zwischen der Forschung zur künstlichen Intelligenz, den Kognitionswissenschaften und der Informatik entstanden (vgl. Schmidt & Kindsmüller, 1996). Ihre große Flexibilität sowie ihr generalistischer Ansatz ermöglichen gleichwohl eine Implementierung im Themenkreis der Kraftfahrzeugführung.

Die Bezeichnung *Produktionssystem* ergibt sich aus der Konzeption, vor allem aber aus der syntaktischen Realisierung der kognitiven Architekturen. Problemlösen, das heißt die kognitive Auseinandersetzung mit der Situation, findet innerhalb der kognitiven Architektur anhand von Produktionen bzw. Produktionsregeln statt. Darunter sind Bedingungs-Aktions-Verknüpfungen zu verstehen, die als Wenn-dann-Regeln formuliert werden. Diese Wenn-Dann-Einheiten werden je nach Architektur entweder programmatisch sequentiell durchlaufen oder durch eine übergeordnete Instanz situationsaktuell ausgewählt. Das Ergebnis einer Bedingungs-Aktions-Abfrage beeinflusst die Auswahl der nächsten Produktionsregel. Der informatorische Gegenstand der Produktionen ist Wissen, das entweder bereits im Langzeitspeicher vorliegt oder zur Laufzeit generiert wird. Die verschiedenen Architekturen unterscheiden sich unter anderem darin, welche Gedächtnistypen sie vorsehen und wie Gedächtnisinhalte manipuliert werden können. Zwei der bedeutendsten Produktionssysteme sind Soar, *State, operator, apply and result*, (Newell, 1990) und ACT-R, *Adaptive Control of Thought – Rational* (Anderson, 1996; Anderson et al., 2004; Anderson & Lebiere, 1998). ACT-R sieht einen sensorischen Speicher, ein Arbeitsgedächtnis so-

wie ein Langzeitgedächtnis vor; Letzteres getrennt nach deklarativem und prozeduralem Wissen. Soar hingegen beschränkt sich bei den Inhalten des Langzeitgedächtnisses ausschließlich auf prozedurales Wissen, das durch das Bedingungs-Aktions-Regelwerk gebildet wird. Beiden Architekturen gemein ist, dass sie Lernprozesse nicht nur erlauben, sondern zum eigentlichen Funktionsprinzip dieser Klasse der Informationsverarbeitungsmodelle machen. Das Regelwerk der Produktionen unterliegt einer ständigen Dynamik. Wissenserwerb bedeutet immer auch Veränderungen der regelhaften Bedingungs-Aktions-Verknüpfungen. Hieran wird die Verwandtschaft mit den Konzepten der künstlichen Intelligenz besonders deutlich. Alle gängigen kognitiven Architekturen sind in Form von Computersimulationen, die mit einem syntaktisch und semantisch eindeutig determinierten Programm betrieben werden müssen, realisiert. ACT-R etwa basiert auf der Programmiersprache LISP.

Michon (1985) sieht in den Produktionssystemen den idealtypischen Zugang zur Modellierung der Kraftfahrzeugführung, weil allein mit ihrer Hilfe alle daran beteiligten Verhaltensaspekte abgebildet werden können. Sie sind – zumindest theoretisch – geeignet, die bislang referierten Teilmodelle in einem Rahmenwerk zusammenzuführen. Als generalistische Theorien der Informationsverarbeitung (Newell, 1990) ermöglichen sie die Beschreibung der regelungstechnischen Mechanismen des fertigkeitsbasierten Verhaltens ebenso wie die Nachbildung aller Prozesse der regel- und wissensbasierten Handlungsregulation. Zum Beispiel liegt ein in ACT-R realisiertes Lenkmodell vor, das auf dem Zwei-Ebenen-Modell von Donges (1978) fußt und die wesentlichen Prozesse der Wahrnehmung und internen Aufmerksamkeitssteuerung spezifiziert (Salvucci, 2006; Salvucci & Grey, 2004). Die Gegenüberstellung mit experimentell erhobenen Verhaltensdaten bestätigt die Gültigkeit dieses produktionssystembasierten Lenkmodells. Darüber hinaus lassen sich motivationale Verhaltensdeterminanten und Anpassungsvorgänge durch Lernen in den Produktionsregeln verankern. Besonders vielversprechend erscheinen kognitive Architekturen in komplexen Situationen, in denen verschiedene Aufgaben zusammenspielen und unterschiedliche Handlungsziele miteinander in Konflikt stehen. Diese Tätigkeitskonstellationen, die über die einfache Aufgabe der Fahrzeugführung hinausgehen, überschreiten die Grenzen vieler der reinen Fahrzeugführungsmodelle. Da kognitive Architekturen Informationsverarbeitung und Verhalten wesentlich granularer handhaben, wird das Modell nicht konzeptionell, sondern lediglich durch den anfallenden Spezifikationsaufwand begrenzt. Salvucci hat beispielsweise mögliche Ablenkungseffekte durch eine Telefonbedienung während der Fahrt mit einem ACT-R-Modell zuverlässig prädiziert (Salvucci, 2001; Salvucci, 2005). Nicht zuletzt sind kognitive Architekturen sowohl allgemeingültig, da sie eine allen Menschen gemeinsame Grundfunktionalität – die Architektur – unterstellen als auch individuumsbezogen, weil die konkrete Produktionssysteminstanz mit ihren jeweiligen Lern- und Anpassungsprozessen vom empirischen Mittel abweichen kann (Michon, 1985).

Integration der Modellansätze

Jedes der vorgestellten Modelle charakterisiert einen Ausschnitt des komplexen Tätigkeitsgefüges der Kraftfahrzeugführung. Allerdings kann mit keinem der Zugänge das Wirksystem Fahrer-Fahrzeug-Straße umfassend beschrieben werden. Vor mehr als 25 Jahren forderte Michon eine konsequente Ausrichtung der psychologischen Forschung im Bereich des Kraftfahrzeugwesens auf die kognitiven Regulationsmechanismen während der Fahrt (Michon, 1985). In allen bisherigen Modellen sei die menschliche Komponente mit ihrem intelligenten Problemlösungsverhalten unterrepräsentiert. Äußerst visionär wies er den Weg:

„We are heading for an intelligent, knowledge and rule based model of the driver that will be capable of dealing with a wide variety of realistic, complex situations. In other words, we are heading for a psychologically plausible expert system or, if you like, a robot driver. At least that is what we should be heading for.“ (Michon, 1985, S. 486)

In den Produktionssystemen sieht Michon dafür sowohl den theoretischen Rahmen als auch das Modellierungswerkzeug. Sie allein hätten das Potential, sämtliche relevanten Erlebens- und Verhaltensbestandteile der Kraftfahrzeugführung, wie Motivation, Lernen, Handlungsregulation etc. abzudecken (siehe S. 7). Darüber hinaus gehen Produktionssysteme qua Natur mit einer strengen formalen Notation einher, was für Michon (1985) ein zentrales Qualitätsmerkmal jedweder Modellierungsbemühung ist. Gleichwohl steht der Durchbruch kognitiver Architekturen als universelles Gerüst für verkehrspsychologische Fragestellungen aus. Produktionssysteme sind weniger klassische Modelle als vielmehr Laufzeitumgebungen im Sinne der Softwaretechnik. Ihre grundlegenden Komponenten und Funktionsprinzipien, zum Beispiel *Buffers*, *Chunks*, *Productions* in ACT-R, das heißt die eigentliche Architektur, sind durchaus anschaulich und haben Modellcharakter. Ohne ausformulierte, syntaktisch fehlerfreie Abbilder eines konkreten Verhaltens bleiben sie jedoch eine ebenso mächtige wie leere Hülle. Ist ein Informationsverarbeitungsprozess einmal in Programmcode spezifiziert, verlieren Produktionssysteme jegliche Klarheit und Abstraktion. Das eigentlich Modellhafte geht in den hoch granularen Realisationsdetails verloren. Vorerst bleiben Produktionssysteme Simulationswerkzeuge für Spezialisten mit ausgewiesenen Programmierkenntnissen.

Rasmussen (1983) vertritt die Ansicht, dass das Forschungsziel nicht darin bestehen kann, ein globales quantitatives Modell zu formulieren. Er fordert ein Konglomerat aus Teiltheorien, die jede für sich in ihrem Bereich gültig und zuverlässig ist. Die Beziehungen und Abhängigkeiten dieses Theoriensatzes sollten seiner Ansicht nach durch einen qualitativen Rahmen gekennzeichnet werden. Das von Bernotat (1964) skizzierte Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung eignet sich in besonderem Maße als Bezugssystem. Es untergliedert die Tätigkeit der Fahrzeugführung in aussagekräftige funktionale Einheiten und lässt gleichzeitig Raum für domänenspezifische Detaillierungen, seien sie regelungstechnischer, motivationspsychologischer oder handlungsregulatorischer Natur.

2.1.2 Das Drei-Ebenen-Modell der Kraftfahrzeugführung

Obwohl es ursprünglich für den Bereich der Flugführung formuliert wurde, handelt es sich beim Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung inzwischen um eines der einflussreichsten und vielseitigsten Modelle für den motorisierten Straßenverkehr. Innerhalb des Modells übernimmt der Mensch die Funktion des Reglers in drei einander übergeordneten Regelkreisen bzw. Führungsschleifen, die als Navigation, Führung und Stabilisierung bezeichnet werden (Bernotat, 1964). Viele der im Abschnitt 2.1.1 behandelten Erwägungen über die Struktur der Kraftfahrzeugführung finden ihre Entsprechung in dieser Hierarchie, wie zum Beispiel der regelungstechnische Zugang (vgl. S. 5), auf den das Drei-Ebenen-Modell zurückgeht, aber auch die handlungsregulatorische Sichtweise (vgl. S. 6). Die Abbildung 2.1 gibt einen schematischen Überblick über das Drei-Ebenen-Modell.

Jeder der drei Regelkreise bildet den Führungswert für den nächst folgenden und enthält als Bestandteile immer das Fahrzeug und den Menschen. Für den Menschen, in diesem Fall den Fahrzeugführer, ergeben sich daraus zahlreiche charakteristische Anforderungen (Alexander & Lunenfeld, 1975), deren Abtast- bzw. Grundfrequenz von der Navigation über die Führung hin zur Stabilisierung zunimmt (Bernotat, 1970). Im idealtypischen Fall der Kraftfahrzeugführung ist jede der drei Ebenen durch einen dominanten Verhaltenstypus aus dem Handlungsregulationsmodell von Rasmussen (1983) gekennzeichnet. So erfolgt das Navigationsverhalten üblicherweise wissensbasiert, das Bahnführungsverhalten regelbasiert und die Stabilisierung des Fahrzeugs fertigkeitbasiert. Vor allem Hale, Stoop und Hommels (1990) betonen aber, dass beide Modelle vielmehr eine Matrix aufspannen, in der jedes der entstehenden neun Felder durch Verhaltensweisen besetzt ist, seien sie typisch, wie diejenigen auf der Hauptdiagonale der Matrix, oder eher selten.

Strategical level (Navigationsebene) – Auf dieser, der Planungsebene, wird das Routenziel definiert, die genaue Route vorausgeplant und die fahrtbezogene Kosten-Risiko-Abschätzung vor-

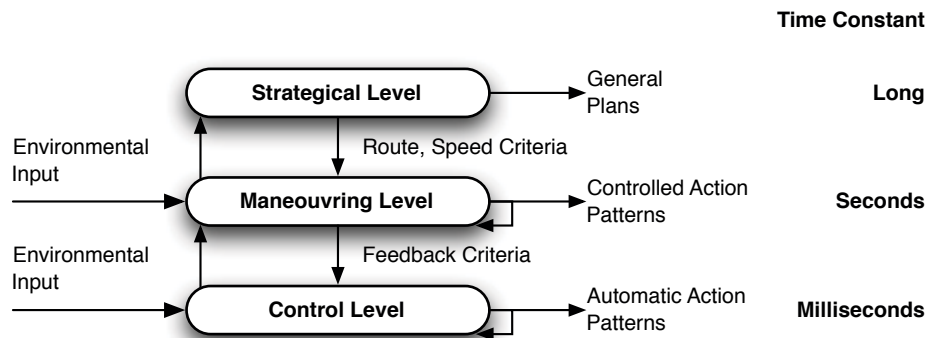


Abbildung 2.1. Das Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (Michon, 1985).

genommen (z. B. Donges, 1978; Renner, 1995). All dies findet gewöhnlich vor Fahrtantritt statt, kann in einigen Fällen, etwa dem täglichen (hoch internalisierten) Weg zur Arbeit, aber auch entfallen. Karten und Stadtpläne, Verkehrszeichen sowie Landschaftsmarken sind die Informationsbasis dieser Ebene. Der Informationsfluss erfolgt stoßweise und hoch verbal (Alexander & Lunenfeld, 1975). Bislang hat die Navigationsebene wenig Beachtung in der verkehrspsychologischen Forschung gefunden (Chalmé, Visser & Denis, 2004; Graf Hoyos & Kastner, 1986), vermutlich, weil individuelle Fehler auf dieser Ebene nicht zu katastrophalen Folgen, sondern lediglich zu Verzögerungen führen und weil der eigentliche, hoch dynamische Prozess der Fahrzeugführung auf der Bahnführungs- und der Stabilisierungsebene vollzogen wird (Alexander & Lunenfeld, 1975). In einer der wenigen Studien zu kognitiven Mechanismen der Navigationsebene untersuchten Chalmé et al. (2004) unterschiedliche Strategien der Routenplanung.

Manoeuvring level (Bahnführungsebene) – Aus den aktuellen Gegebenheiten des Verkehrsraumes, wie Fahrbahnmarkierungen, Beschilderungen, Hindernissen und den übrigen Verkehrsteilnehmern, werden auf der Bahnführungsebene die Führungsgrößen Sollspur und Sollgeschwindigkeit vorausschauend durch den Fahrer gewählt und in situationsangemessene Fahrzeugbewegungen übertragen (Donges, 1993). Es handelt sich dabei nicht um offen sichtbare Aktionen. Bahnführung ist in erster Linie ein Entscheidungsprozess über die Initiierung von Fahrmanövern (Weir & McRuer, 1970), der in den drei Stufen Identifizierung alternativer Handlungswege, Bewertung der Erfolgswahrscheinlichkeiten jeder einzelnen Alternative und Auswahl der am besten passenden Alternative erfolgt. Der Fahrer verlässt sich hierbei auf seine Erfahrung, sein Urteils- und Schätzvermögen sowie seine Vorhersagefähigkeiten. Zeitmangel bei der Alternativenwahl, die Unfähigkeit, vorhandene Alternativen zu entdecken oder sich zwischen gleichwertigen Alternativen zu entscheiden und der Mangel an Information für eine richtige Wahl können den Entscheidungsvorgang negativ beeinflussen (Alexander & Lunenfeld, 1975). Da auf der Bahnführungsebene der aktuelle und zukünftige Straßenverlauf, der den Führungswert für den Fahrvorgang bildet, registriert wird, handelt es sich beim Bahnführungsverhalten um einen hoch antizipatorischen Steuervorgang, wie er auf S. 5 skizziert wurde (Donges, 1978). Eine sehr detaillierte Analyse einzelner Fahrmanöver der Bahnführungsebene, beispielsweise Spurpositionierung, Überholen, Vorbeifahren, Abbiegen und ihrer sicherheitsorientierten Unterstützung haben Alexander und Lunenfeld (1975) vorgenommen.

Control level (Stabilisierungsebene) – Die Stabilisierungsebene beinhaltet alle Aktivitäten und Informationen, die mit der physikalischen Manipulation des Fahrzeugs in Verbindung stehen (Alexander & Lunenfeld, 1975). Auf dieser Ebene manifestiert sich offen sichtbar das tatsächliche Fahrzeugführungsverhalten als Ergebnis der handlungsplanerischen Vorgaben aus der Bahnführungs- und Navigationsebene. Der Fahrer vergleicht permanent die Führungs- und Regelgrößen – den Istzustand – und greift kompensatorisch ein, um das Fahrzeug in größtmöglicher Stabilität und maximaler Annäherung zum Sollzustand zu bewegen (Donges, 1978). Für den

querdynamischen Regelkreis bedeutet das, dass der Fahrer, nachdem er zuvor auf der Bahnführungsebene einen passenden Pfad mit entsprechenden Toleranzen ausgewählt hat, das Fahrzeug mit angemessenen Lenkradbewegungen auf dem spezifizierten Pfad festsetzen und halten muss. Pfadfehler müssen im Rahmen von Grenzwerten in einer stabilen, reaktionsschnellen und ausgewogenen Art reduziert werden. Schließlich muss der gewählte Pfad auch unter dem Einfluss von Störungen, wie Seitenwinden, Straßenschäden und fahrzeuginternen Störungen beibehalten werden (McRuer et al., 1977). Im zweiten, ebenfalls geschlossenen, Regelkreis kontrolliert der Fahrer mit Hilfe des Gaspedals und der Bremse die Längsdynamik des Fahrzeugs (Donges, 1982). Die zentrale Informationsquelle der Stabilisierungsebene ist das Fahrzeug selbst (Alexander & Lunenfeld, 1975).

2.1.3 Aufgabenstruktur der Kraftfahrzeugführung

Die Tätigkeit der Kraftfahrzeugführung setzt sich aus zahlreichen Teilaufgaben zusammen, die grob in Aufgaben der Fahrzeugkontrolle – die Primäraufgaben – und Unterstützungs- bzw. Zusatzaufgaben – die Sekundäraufgaben – unterteilt werden können. Die Primäraufgaben stehen in direktem Zusammenhang mit der Bewegung des Fahrzeugs infolge der Manipulation der Pedalerie und des Lenkrades. Johannsen (1993) hat eine detaillierte Analyse möglicher Teilaufgaben des Primäraufgabenkomplexes vorgenommen, etwa typischer Haupt- und Unteraufgaben bei einer Stadtfahrt. Speziell auf Teilaufgaben der Bahnführungsebene gehen Alexander und Lunenfeld (1975) ein. Flankiert werden die Primäraufgaben durch die sogenannten Sekundäraufgaben, deren Bearbeitung nicht für die eigentliche Fahrzeugführung erforderlich ist, die aber rege Anwendung im Fahrzeug finden. Dazu zählen zunächst Unterstützungsaufgaben für die Fahrzeugführung, wie die Anzeige einer Richtungsänderung durch die Betätigung des Blinkgebers oder das Einschalten des Abblendlichts mit beginnender Dämmerung. Zusätzlich bietet ein Fahrzeug eine Fülle von Komfortfunktionen. Die Benutzung und Bedienung dieser Funktionen, zum Beispiel des Radios, der Klimaanlage oder des Navigationssystems zählt ebenso zum Komplex der Sekundäraufgaben. Die Tabelle 2.2 gibt Timpe (2001) Überblick über wichtige Aufgaben der Fahrzeugführung, getrennt nach Primär- und Sekundäraufgaben, wieder.

Tabelle 2.2
Aufgaben bei der Fahrzeugführung (modifiziert aus Timpe, 2001)

Aufgabenklasse	Teilaufgaben
Primäraufgaben	Planen (z. B. Auswahl einer Fahrroute) Manövrieren (z. B. Überholvorgang einleiten) Stabilisieren (z. B. Spur- oder Abstand halten)
Sekundäraufgaben	Kommunizieren (z. B. Telefonieren, Routen erfragen) Richtungsänderungen anzeigen Überwachen und Bedienen (z. B. Radio einschalten, Klimaanlage regeln usw.) Informationen des Bordcomputers verarbeiten ...

Beide Aufgabentypen interagieren in vielfältiger Weise. Aus dem Zusammenspiel von Primär- und Sekundäraufgaben können aber Aufgabenkonstellationen resultieren, die zu einer Überlastung des Fahrers führen und potentiell sicherheitskritisch sind. Hier tritt der Sachverhalt der Ablenkung von der Primäraufgabe durch eine zeitgleiche Bearbeitung von Sekundäraufgaben in den Fokus. Mögliche Überlastungen bzw. Ablenkungseffekte schildern Fastenmeier und Gstalter (1998). Sie gliedern die Anforderungen der Primär- und Sekundäraufgaben nach den Stufen der Informationsverarbeitung (vgl. S. 14) und trennen zwischen visueller, motorischer und zentraler Ablenkung. Die aktuellen Ressourcentheorien der Informationsverarbeitung legen diese Unter-

scheidung nahe. Sie bilden ein produktives Fundament für die Analyse von Ablenkungseffekten in Doppelaufgabensituationen, wie sie für die Kraftfahrzeugführung so typisch sind.

2.2 Fahrerablenkung

2.2.1 Psychologische Theorien der Fahrerablenkung

Bei der Kombination von Primär- und Sekundäraufgaben können Interferenzeffekte auftreten, die gemeinhin unspezifisch als Ablenkung bezeichnet werden. Ablenkung umschreibt keinen einheitlichen psychologischen Mechanismus, sondern wird häufig, wie zum Beispiel die Definition des Deutschen Instituts für Normung zeigt, über den Begriff der Aufmerksamkeit operationalisiert:

„Ablenkung [ist die] signifikante Belegung der Fahreraufmerksamkeit durch Reize von nicht fahrt-relevanten Informationen oder von mit dem Fahren verknüpften Informationen, deren Darstellung eine höhere Aufmerksamkeit erfordert, als eigentlich zur Erfassung der relevanten Information nötig wäre.“ (DIN EN ISO 15005, 2003, S. 6)

Regan, Hallett und Gordon (2011) verknüpfen Ablenkung begrifflich ebenfalls mit Aufmerksamkeit, indem Sie Fahrerablenkung als Subkategorie von Unaufmerksamkeit während der Fahrt betrachten. Diese Lesart der Ablenkung ist nur scheinbar präzise. Sie lässt zwei zentrale Punkte offen: Was ist unter Aufmerksamkeit zu verstehen? Worin äußert sich eine Belegung der Aufmerksamkeit und ab welchem Punkt gilt diese als signifikant? Die Beantwortung der ersten Frage ist seit vielen Jahren Gegenstand der psychologischen Grundlagenforschung. Die zweite Frage hat große Beachtung in den Anwendungsdomänen der Psychologie gefunden und wird vor allem im Begriffssystem Beanspruchung – *Workload* diskutiert. Beide Themenbereiche sind stark miteinander verwoben. In dieser Arbeit soll der Phänomenbereich der Ablenkung aus der Perspektive der Aufmerksamkeit, ihrer Selektivität und ihrer scheinbaren Teilbarkeit betrachtet werden. Wie aus der Einführung in das Forschungsgebiet von Neumann und Sanders (1996) ersichtlich wird, ist das kein einfaches Unterfangen, da sich das Verständnis von Aufmerksamkeit über die Jahre stetig verändert hat und auch zum jetzigen Zeitpunkt keine Übereinkunft über das Wesen der Aufmerksamkeit hergestellt werden konnte. Anhand von Hirst (1986) und Neumann (1996) kann die historische Entwicklung des Aufmerksamkeitsbegriffs nachvollzogen werden. Für den aktuellen Kenntnisstand bleibt vorab festzustellen, dass Aufmerksamkeit bislang kaum mehr als ein Terminus für einen komplexen Untersuchungsbereich ist, der funktionell verschiedenartige Systeme der Orientierung, Dauertätigkeit und Mehrfachtätigkeit umreist (Neumann, 1996).

Zwei sehr einflussreiche Deutungsversuche von Aufmerksamkeit sind Ressourcentheorien und funktionale Theorien. Wickens' (1980, 1991, 2002; Wickens & Hollands, 2000; Wickens & McCarley, 2008) und Boles' (1991, 1992; Boles & Law, 1998) Theorien sind aktuell prominente Vertreter der Ressourcenannahme, wenngleich sie jeweils kontrovers diskutiert werden (vgl. Boles, Bursk, Phillips & Perdelwitz, 2007; Boles & Phillips, 2007; Vidulich & Tsang, 2007; Wickens, 2007). Neumanns Konzept der funktionalen Aufmerksamkeit (Neumann, 1987, 1992) ist ein bemerkenswerter Gegenentwurf zum Ressourcenansatz und leitet derzeit offenbar einen Paradigmenwechsel im Aufmerksamkeitsverständnis ein. Während die Ressourcenmodelle einen unbestreitbaren praktischen Nutzwert haben, weil aus ihnen a priori Gestaltungshinweise für die Mensch-Maschine-Interaktion abgeleitet werden können (vgl. Wickens & McCarley, 2008), bleibt eine Applikation der Theorie der funktionalen Aufmerksamkeit bei praktischen Fragestellungen schwierig. Als Gestaltungsgrundlage ist sie unhandlich und wenig prägnant. Sie hat ihre Stärken aber unbestritten in der nachträglichen Interpretation empirischer Befunde.

Theorie multipler Ressourcen

Wickens' Theorie der multiplen Ressourcen (Wickens, 1980, 1991, 2002; Wickens & Hollands, 2000) ist im ingenieurpsychologischen Bereich sehr präsent, weil sie die momentan weitreichendste Theorie zur Erklärung der Leistungen in Doppelaufgabensituationen ist, also in all jenen lebensnahen Anwendungsfällen, in denen zwei Aufgaben zeitparallel bearbeitet werden müssen. Eine prägnante Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstands geben Wickens und McCarley (2008). Aufmerksamkeit wird nach Wickens durch Ressourcen energitisiert. Er spricht deshalb auch von *attention resources*. Wie dieses Energiereservoir beschaffen ist, lässt sich nur indirekt über die Leistung in bestimmten Aufgaben erschließen, von denen man annimmt, dass sie eben jene Ressourcen beanspruchen (Heuer, 1996). Ressourcen können als mentale Anstrengung, die in eine Verbesserung der Bearbeitungsleistung einer Aufgabe investiert werden muss, aufgefasst werden (Wickens, 1991). Formal wird dieser Zusammenhang in der sogenannten Leistungs-Ressourcen-Funktion bzw. Performance Resource Function (PRF) ausgedrückt (Heuer, 1996; Wickens & Hollands, 2000). Diese Funktion kann nicht fallend sein und besitzt ein absolutes Maximum. Ihr Verlauf (Kurvigkeit, Steilheit) gibt darüber Auskunft, wie man sich die Ressourcenbeanspruchung bei einem konkreten Leistungsniveau vorzustellen hat. Die PRF dient jedoch allein der grafischen Veranschaulichung der Grundidee, wonach eine Aufgabe, wenn sie Aufmerksamkeit erfordert, Ressourcen in Anspruch nimmt und wonach der Ressourcenbedarf bei zunehmender Leistung ansteigt. Empirisch zu bestimmen ist sie gleichwohl nicht, weil bei einer Aufgabebearbeitung zwar die Leistung aber nicht der Ressourceneinsatz gemessen werden kann.

Wickens ist sich der Unschärfe dieser Definition bewusst. Er versteht Ressourcen deshalb als Syndrom und weniger als vollständig verstandene funktionale und materielle Struktur des menschlichen Informationsverarbeitungssystems (Wickens, 1991). Das Syndrombild ergibt sich für Wickens aus empirischen Befunden, plausiblen Modellen und auch aus der Intuition. Die Integration der drei Erkenntnisquellen lässt die Ressourcenannahme für ihn gültig erscheinen. Jedes Einzelphänomen könne auch mit einem anderen Modell erklärt werden. In der Zusammenschau aller Phänomene sei aber nur das Ressourcenkonzept plausibel, so Wickens. Ressourcen zeichnen sich durch drei Eigenschaften aus: Knappheit (*scarcity*), Zuteilbarkeit (*allocation*) und Verknüpfung mit der Aufgabenschwierigkeit (*relation to task difficulty*). Aufgrund der Dekremente in Doppelaufgabenstudien kann angenommen werden, dass Ressourcen begrenzt sind. Ressourcen können willentlich und graduell einzelnen Teilaufgaben zugewiesen werden. Mit zunehmender Schwere der Aufgabe müssen mehr Ressourcen mobilisiert werden, um die Aufgabenleistung konstant zu halten. Diese bedeutsame Verknüpfung zwischen Ressourceneinsatz und Aufgabenschwierigkeit bildet sich in der Formel 2.1 ab.

$$P = \frac{R}{D} \quad (2.1)$$

Die Idee, wonach sich Aufmerksamkeit nicht – wie zunächst in früheren Ansätzen angenommen (vgl. Heuer, 1996; Neumann, 1996) – aus einer einzigen, sondern aus multiplen Ressourcen speist, entstand aus empirischen Befunden, die mit einer einzelnen universellen Ressource nicht zu erklären waren. Wickens (1991) bezeichnet diese Phänomene als *difficulty insensitivity*, *structural alteration effects*, und *perfect timesharing*. Die Änderung der Schwierigkeit einer Aufgabe führt nicht zwangsläufig zu einem Doppelaufgabendekrement (*difficulty insensitivity*); ein Befund, der dem Konzept einer Einzelressource widerspricht und nur aufzuklären ist, wenn zwei Aufgaben voneinander verschiedene Ressourcen beanspruchen. Der *structural alteration effect* beschreibt die empirische Auffälligkeit, dass sich die Leistung in einer Aufgabe trotz konstant bleibender Aufgabenschwierigkeit ändern kann, wenn die Struktur der Aufgabe, beispielsweise durch einen Wechsel der Antwortmodalität von verbal auf motorisch, modifiziert wird. Drittens, zwei nicht triviale Aufgaben beeinflussen sich nicht, obwohl dieselben Aufgaben in anderen Aufgabenkonstellationen, das heißt gepaart mit anderen Aufgaben, zu Dual Task-Dekremente führen (*perfect timesharing*). Wickens' umfangreiche Analyse von Aufgaben und Aufgabenpaa-

rungen, die zu diesen drei Effekten führen (z. B. Wickens, 1980), zeigt eine konsistente Übereinstimmung mit einem Modell, das drei beziehungsweise in jüngster Zeit vier Ressourcendichotomien postuliert und in der Abbildung 2.2 dargestellt ist.

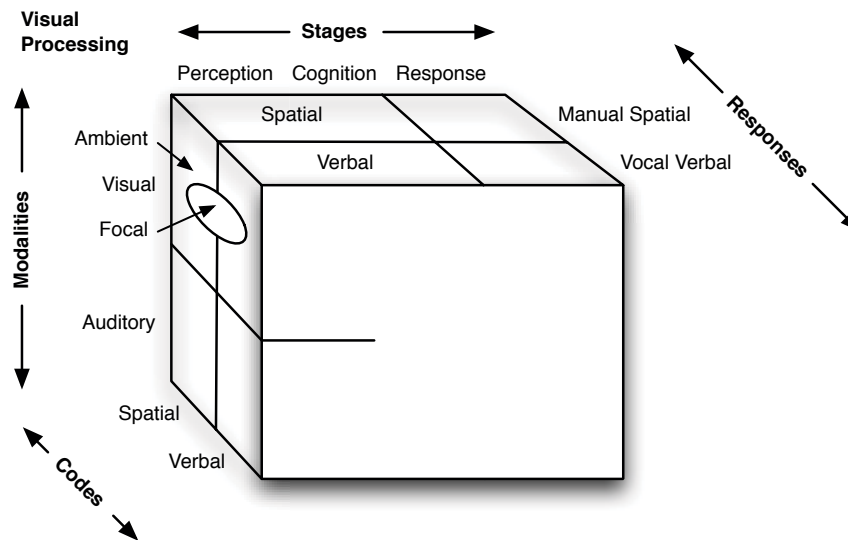


Abbildung 2.2. Theorie multipler Ressourcen (Wickens, 2002).

Stufen der Informationsverarbeitung (Processing stages) – Die erste Dichotomie trägt dem Stufencharakter der menschlichen Informationsverarbeitung Rechnung (z. B. Wickens, 2002). Die Abbildung 2.3 detailliert die Wahrnehmungs- und Antwortprozesse auf dieser Dimension des Ressourcenwürfels und setzt sie mit dem Arbeitsgedächtnis, also der eigentlich zeitaktuellen Kognition, dem Langzeitgedächtnis sowie den Aufmerksamkeitsressourcen in Beziehung. Am deutlichsten sind die Stufen der Wahrnehmung von denen der Handlungsausführung getrennt. Zwischen beiden vermittelt das kognitive System. Augenfällig ist – und darin besteht die eigentliche Dichotomie –, dass Wahrnehmungs- und Arbeitsgedächtnisprozesse auf einen gemeinsamen Ressourcenpool zurückgreifen, der unabhängig von den Aufmerksamkeitsressourcen des Antwortverhaltens ist. Für die angestrebte Trennung visueller und kognitiver Ablenkungseffekte muss also gemäß dem Wickens-Modell von vornherein eine starke Interdependenz zwischen beiden Prozessstufen angenommen werden.

Am Beginn der Stufenfolge steht die sensorische Kanalisierung externer Information durch den sensorischen Apparat, insbesondere durch den sensorischen Kurzzeitspeicher. Hier vollzieht sich der physikalische Prozess der Reizaufnahme. Auf der zweiten Stufe, der eigentlichen Wahrnehmung, wird die aufgenommene sensorische Rohinformation dekodiert und aufbereitet. Der Wahrnehmungsprozess erfolgt automatisch, ist äußerst schnell und benötigt wenig Aufmerksamkeit. Er umfasst einen *bottom up*-Mechanismus, der von sensorischen Eingangsgrößen gesteuert wird sowie einen *top down*-Mechanismus, der vom Langzeitgedächtnis ausgeht und erwartungsgesteuert arbeitet. Dieser *top down*-Strang ist dafür verantwortlich, dass Wahrnehmung sehr selektiv und gerichtet erfolgt. Der substantielle Unterschied zur nächsten Stufe, der Kognition, besteht darin, dass höhere mentale Prozesse mehr Zeit, mehr Aufmerksamkeit und mehr mentale Anstrengung erfordern. Bezogen auf den Ressourcenaspekt lässt sich also ein quantitativer Unterschied zwischen Wahrnehmung und Kognition ausmachen. Die Wahrnehmung erfolgt hoch automatisiert und sehr schnell. Höhere mentale Prozesse vollziehen sich dagegen im Arbeitsgedächtnis, das seinerseits ebenfalls als kapazitätsbeschränktes System konzipiert ist (vgl. Baddeley, 1986), und sind bewusstseinspflichtig. Das macht sie in höchstem Maße abhängig von Aufmerksamkeitsressourcen. Wickens und Hollands (2000) betonen, dass die Trennung zwischen Wahrnehmung und Kognition keinesfalls scharf ist. Beide Stufen markieren vielmehr die

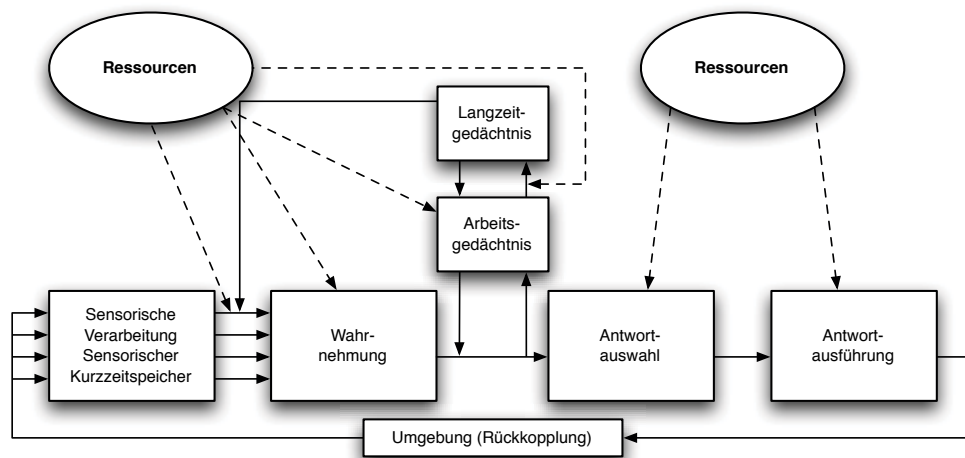


Abbildung 2.3. Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung (modifizierte Darstellung aus Wickens, 2002 und Wickens & Hollands, 2000).

Endpunkte eines Kontinuums. Deshalb fehlt in der Würfeldarstellung an dieser Stelle die trennende Linie. Die Antwortseite der Informationsverarbeitung hingegen wird von einer qualitativ anderen Ressource getrieben, wenngleich vor allem an der Antwortauswahl auch hier kognitive Prozesse beteiligt sind, deren Ausmaß eine Funktion des Automatisierungsgrades der entsprechenden Verhaltensantwort ist.

Verarbeitungskodes (Processing codes) – Räumlich analoge Information wird unter Rückgriff auf eine andere Ressource verarbeitet als verbal linguistische Information. Auch hierin spiegelt sich Baddeleys Arbeitsgedächtnisannahme wider, die ein System zur Verarbeitung visuell-räumlicher und ein System zur Verarbeitung verbaler Information vorschlägt. Offenbar kann diese Trennung der Verarbeitungskodes auf anatomische Strukturen im menschlichen Gehirn zurückgeführt werden. Beide Informationstypen werden sehr wahrscheinlich in verschiedenen Hemisphären verarbeitet (Wickens & Hollands, 2000). Die Unterscheidung der Kodes gilt sowohl für die Wahrnehmungs-, die Kognitions- als auch für die Antwortstufe der Informationsverarbeitung.

Wahrnehmungsmodalitäten (Perceptual modalities) – Die dritte Dichotomie würdigt den empirischen Befund, dass die gleichzeitige Verarbeitung von Information verschiedener Modalitäten in der Regel störungsfreier möglich ist als von Information des gleichen sensorischen Typs. Zwei visuelle Aufgaben behindern einander eher als eine visuelle und eine auditorische Aufgabe. Bislang ist ungeklärt, ob es sich dabei um eine reine Bandbreiteneinschränkung des sensorischen Apparats bzw. der sensorischen Peripherie handelt oder ob es innerhalb des Wahrnehmungssystems tatsächlich getrennte auditorische und visuelle Ressourcen gibt.

Visuelle Kanäle (Visual channels) – Wickens' Ressourcenmodell ist unlängst um ein weiteres komplementäres Ressourcenpaar ergänzt worden, das sich aus einer Ausdifferenzierung des visuellen Verarbeitungssystems ergibt (Wickens, 2002). Fokales und ambientes Sehen konstituieren eine zusätzliche Ressourcendichotomie, die in den Bereich der visuellen Wahrnehmungsmodalität eingebettet ist und mit deren Hilfe die Gültigkeit des vorliegenden Modells auf ein größeres Spektrum empirischer Befunde ausgedehnt werden konnte. Fokales Sehen ist nahezu immer foveal, das heißt scharfgestellt und dient der Objekt- und Mustererkennung. Ambientes Sehen beruht zum großen Teil auf den Prozessen des peripheren Sehens. Es dient der Orientierung im Raum, der Steuerung der Eigenbewegung sowie der Überwachung der Umgebung. Man kann zum Beispiel relativ problemlos ein Fahrzeug in der Spur halten (ambient) und gleichzeitig Verkehrszeichen ablesen (fokal). Bislang ist nicht abschließend geklärt, ob störungsfreies gleichzeitiges fokales und ambientes Sehen möglich ist, weil sich beide aus getrennten Ressour-

cen speisen oder weil ambientes Sehen überhaupt keine Ressourcen beansprucht und im Sinne Treismans präattentiv erfolgt (vgl. Treisman & Gelade, 1980).

Theorie hemisphärischer Ressourcen

Die Forschungsgruppe um Boles schlägt ein Informationsverarbeitungssystem vor, das aus mehreren disjunkten ressourcenartigen Mechanismen besteht, für die es eine neuroanatomisch naheliegende Begründung gibt. Die Autoren sind der Auffassung, dass Ressourcen typischerweise asymmetrisch zwischen den zerebralen Hemisphären verteilt sind (Boles et al., 2007). Die Zahl möglicher Ressourcen ist sehr wahrscheinlich mit der Menge sogenannter orthogonaler Informationsverarbeitungsprozesse identisch, die das eigentliche konzeptionelle Fundament des Ressourcenmodells von Boles bilden. Darunter sind Prozesse zu verstehen, die sich aus einer faktorenanalytischen Selektionsprozedur ergeben und sich dadurch auszeichnen, dass sie untereinander unkorreliert sind. Sie sind rein empirisch ermittelt worden. Dazu wurden Aufgabensammlungen verwendet, die bei getrennter Darbietung links oder rechts der Hemisphärenmittellinie nachweislich eine Hemisphärenasymmetrie zeigen. Anhand von Gütemaßen der Aufgabenbearbeitung, wie Reaktionszeit und Fehlerrate, konnten laterale Aufgabendifferenzen berechnet werden. Alle signifikanten lateralen Unterschiede wurden dann einer Faktoranalyse unterzogen. Eine detaillierte Darstellung des experimentellen und faktorenanalytischen Vorgehens findet sich bei Boles (1991, 1992). Die errechneten Faktoren wurden schließlich als basale Prozesse der Informationsverarbeitung interpretiert (Boles et al., 2007; Boles & Law, 1998). Die Tabelle 2.3 enthält eine Auflistung aller bislang faktorenanalytisch ermittelten lateralen Prozesse.

Tabelle 2.3

Durch Faktorenanalyse ermittelte laterale Prozesse der Informationsverarbeitung (Boles et al., 2007)

Process	Typical Tasks
Auditory emotional	Recognizing vocal emotion
Auditory linguistic	Recognizing auditory words, digits, or syllables
Facial figural	Judging face similarity or expression
Facial motive	Performing a facial gesture such as winking
Planar categorical	Judging whether one position is above or below another
Spatial attentive	Focusing attention on a position in space
Spatial concentrative	Judging the spacing of numerous visual objects
Spatial emergent	“Picking out” a visual object from a cluttered background
Spatial positional	Recognizing a visual location in space
Spatial quantitative	Judging numerical quantity represented by a bar graph or small cluster of objects
Tactile figural	Recognizing shapes using the sense of touch
Visual lexical	Recognizing visual words, letters, or multiple digits
Visual phonetic	Matching visual letters by rhymed endings
Visual temporal	Judging brief time intervals between visual objects

Boles und Law sehen ihr Modell nicht im Widerspruch zu Wickens. Sie begreifen ihren Ansatz vielmehr als Ausdifferenzierung der bestehenden, nach ihrer Ansicht aber unvollständigen, Theorie multipler Ressourcen (Boles & Law, 1998). Sie stützen sich dabei auf den experimentellen Befund, dass einige ihrer orthogonalen Prozesse offensichtlich innerhalb der von Wickens als funktional einheitlich postulierten Ressourcen liegen. Das heißt, Teilaufgaben, die sich nach Wickens wechselseitig beeinträchtigen müssten, weil sie auf die gleiche Ressource zugreifen, blieben im Experiment voneinander unbeeinflusst. Zum Beispiel haben Boles und Law (1998) separate räumliche Verarbeitungsprozesse identifiziert, die sich nicht gegenseitig stören. Das widerspricht der von Wickens vorgeschlagenen Ressourcenaufteilung. Boles und Law stimmen mit Wickens jedoch insofern überein, dass jeder ihrer lateralen Prozesse ein potentieller Flaschen-

hals ist, der das Leistungsquantum zweier Aufgaben, die den gleichen orthogonalen Verarbeitungsprozess benötigen, begrenzt. Aus funktionaler Sicht vertreten auch Boles und Law (1998) die klassische Ressourcenannahme.

Um ihr Ressourcenmodell einer praktischen Anwendung zugänglich zu machen, haben Boles et al. (2007) einen Fragebogen entworfen, mit dessen Hilfe Mensch-Maschine-Systeme hinsichtlich ihrer Inanspruchnahme der einzelnen orthogonalen Prozesse bewertet werden können. Aufgrund seiner starken Betonung von Wahrnehmungsprozessen – insgesamt 14 der 17 Items des *Multiple Resource Questionnaires (MRQ)* beziehen sich auf visuelle, auditorische oder taktile Prozesse (vgl. Tabelle 2.3) –, der scheinbar willkürlichen Hinzunahme dreier gedächtnis- und handlungsantwortbezogener Items sowie einiger versuchsmethodischer Auffälligkeiten bei der Validierung des Fragebogens machen Vidulich und Tsang (2007) deutliche Kritik am MRQ, aber auch am gesamten Ressourcenmodell von Boles geltend. Obwohl Boles et al. (2007) vermuten, dass ihr Ressourcenpool nicht vollständig ist, geben sie zum Beispiel keine Auskunft darüber, wie diese Vollständigkeit erreicht und validiert werden kann. Vidulich und Tsang (2007) sehen aber in erster Linie die Gefahr, dass die stetige Hinzunahme weiterer orthogonaler Prozesse den Modellierungsbemühungen von Informationsverarbeitungsprozessen zuwider läuft, weil sich bei diesem Vorgehen in letzter Konsequenz ein direktes Abbild der Anforderungen einer Aufgabe ergeben würde, die keinen Raum für eine Generalisierung auf die zugrundlegenden Funktionsprinzipien lässt.

Theorie funktionaler Aufmerksamkeiten

Neumann (1987, 1992, 1996) vertritt eine substantiell andere Sichtweise auf das Phänomen Aufmerksamkeit. Ausgangspunkt seiner Überlegungen sind einige offensichtliche Probleme der Mehrfachressourcentheorien. Erstens ist keines der bestehenden Modelle in der Lage, alle detaillierten Muster der umfangreichen Doppelaufgabenbefunde zu erklären. Die tatsächlichen Interferenzen sind in der Regel wesentlich spezifischer als durch die Modelle vorhergesagt. Sie hängen von sehr vielen Details der Einzelhandlungen ab, wie zum Beispiel strukturelle Ähnlichkeiten oder gemeinsame Zeitmuster der Aufgaben (Neumann, 1992). Zweitens zeigen sich bei bestimmten Anforderungen wiederum sehr unspezifische Interferenzen, die scheinbar auf keinerlei Ressource zurückgehen, die überlastet worden sein könnte. Wesentlich schwerer wiegt aber Neumanns Einwand gegen das Ressourcenkonzept an sich. Selbst wenn es gelänge, einzelne Ressourcen greifbar zu machen, müsste noch schlüssig begründet werden, warum diese Ressourcen begrenzt sind, so Neumann (1987). In diesem Zusammenhang weist er auf ein konzeptionell-methodisches Problem hin. Die Inanspruchnahme von Ressourcen ist nicht direkt messbar, sondern lediglich indirekt über die Leistung bzw. den Leistungsabfall in Doppelaufgabenkonstellationen bestimmbar. Gleichzeitig wird das Ressourcenkonzept selbst mit Hilfe der Leistungsveränderungen in Doppelaufgaben begründet. Die Argumentationskette ist vollständig zirkulär (Neumann, 1992). Dieser Vorwurf ist derart gravierend, dass die Ressourcenannahme nur durch Zusatzannahmen haltbar bleibt (siehe Abschnitt 2.2.2).

Neumann formuliert eine alternative Aufmerksamkeitstheorie, deren Kernaussage darin besteht, dass Aufmerksamkeit erforderlich ist, weil das zentrale Nervensystem nicht, wie die Ressourcenannahme impliziert, strukturell begrenzt ist, sondern im Gegenteil hoch parallel arbeitet, extrem leistungsfähig und sehr flexibel ist. Es macht somit einen Mechanismus nötig, der permanent alle simultan ablaufenden Prozesse gegeneinander isoliert, da sich nur so zielführendes Verhalten manifestieren kann (Neumann, 1987, 1992). Aufmerksamkeit ist also eine Sammlung von Mechanismen, auf die das menschliche Gehirn zurückgreift, um die sich ständig stellenden Selektionsprobleme der komplexen Erlebenswelt lösen zu können (Neumann, 1987). Andernfalls kann es aufgrund der starken Vernetzung der Neuronen im zentralen Nervensystem zum Übersprechen zwischen den Neuronen kommen; eigentlich getrennte Verarbeitungsprozesse würden sich gegenseitig stören. Zum anderen besteht natürlich eine physikalische Begrenztheit der Peripherie des menschlichen Organismus', die einer zeitgleichen Umsetzung aller möglichen Hand-

lungsalternativen im Weg steht und deshalb aktiv bei der Handlungsausführung einkalkuliert werden muss (Neumann, 1992).

Um die zahlreichen potentiellen Verhaltensalternativen in eine tatsächliche Verhaltensrealisierung zu kanalisieren, muss das Informationsverarbeitungssystem unter anderem zwei Selektionsprobleme lösen. Es müssen Effektoren rekrutiert werden (*effector recruitment*). Das heißt, es muss entschieden werden, welche Fertigkeiten im Hinblick auf das Handlungsziel Zugang zum Effektorsystem gewährt werden soll. Und es müssen passende Handlungsparameter spezifiziert werden (*parameter specification*). Jeder Handlungsparameter kann zahlreiche Ausprägungen annehmen. Damit sich dieses vielgestaltige Handlungspotential nicht in willkürlichen, undkoordinierten, sozusagen chaotischen Verhaltensweisen entlädt, müssen gezielt sinnvolle Handlungsparameter definiert werden (Neumann, 1987). Daraus leitet Neumann ein funktionales Modell der Aufmerksamkeit ab, das sich von strukturellen Entitäten löst, indem es Aufmerksamkeit nicht über eine zugrundeliegende – auch physiologische – Architektur konzeptionalisiert, sondern allein nach funktionalen Prinzipien sucht. Neumann fragt weniger nach dem Was als vielmehr nach dem Warum von Aufmerksamkeit. Die Antwort gibt er in Form von fünf Mechanismen der Aufmerksamkeit (Neumann, 1992).

Verhaltenshemmung – Dieser Mechanismus bezieht sich auf das bereits erwähnte Selektionsproblem der Effektorrekrutierung. Dass ein derartiger Mechanismus vorhanden sein muss, ist offensichtlich, denn Effektoren stehen zu einem gegebenen Zeitpunkt nur für eine Aufgabe zur Verfügung. Dabei wird gerade ablaufendes Verhalten gegen Unterbrechungen durch neue und unerwartete Reize geschützt, wie Befunde einer verminderten Orientierungsreaktion bei einer bereits aktiven Handlung nahelegen. Die Hemmung von störendem Verhalten ist insbesondere zu Beginn einer motorischen Verhaltensantwort nötig (Neumann, 1992).

Informationsselektion zur Handlungssteuerung – Hat eine Verhaltensweise gegenüber anderen den Vorrang erhalten, muss die Ausprägung dieses Verhaltens genau spezifiziert werden. Durch eine aufmerksamkeitsgesteuerte perzeptive und sensorische Selektion wird nur diejenige Information zugelassen und verarbeitet, die zur gewählten Verhaltensalternative gehört. Alle Sinne und alle Informationsverarbeitungsprozesse werden exklusiv auf dieses Verhalten ausgerichtet. Neumann (1992) betont die Modalitätsabhängigkeit dieser Selektionsprozesse. So folgt visuelle Selektion zum Beispiel anderen Funktionsprinzipien als selektives Hören.

Regulation des psychophysiologischen Erregungsniveaus – Einem Ereignis Aufmerksamkeit zuzuwenden, ist hier als Prozess der Erhöhung des psychophysiologischen Erregungsniveaus zu verstehen, der nötig ist, um eine Aufgabe aktiv angehen zu können. Es handelt sich dabei also um einen Vorgang der Energetisierung, Fokussierung bzw. Konzentration, das heißt Intensivierung der psychophysiologischen Aktivität, um ein optimales Verhaltensergebnis zu erreichen (Neumann, 1992).

Mit diesem Aspekt sind die wesentlichen drei Aufmerksamkeitsmechanismen erläutert, die sich in dieser Form wohl bei allen höheren Lebewesen finden. Die beiden verbleibenden Aufmerksamkeitsmechanismen können dagegen nur für den Menschen unterstellt werden (Neumann, 1992).

Handlungsplanung – Durch vorausgelagerte Planung werden Menschen erst in die Lage versetzt, tatsächlich mehrere Dinge gleichzeitig zu tun. Der eingangs geschilderte Mechanismus der Verhaltenshemmung kann hier überwunden werden, weil die Teilhandlungen durch Planungsaktivitäten zu einer neuen nunmehr integrierten Handlung zusammengeführt werden, die dadurch den Status einer Fertigkeit erlangt. Folgt man Neumann, so wird Doppelaufgabentätigkeit erst durch Handlungsplanung möglich. Die zuvor getrennten Einzelhandlungen werden sequentiell auf atomarer Ebene miteinander verzahnt. Eine solche Aufgabenverstrickung gelingt umso besser, je ähnlicher die Zeitmuster der Teilaufgaben sind. Mikroskopisch betrachtet, agieren Menschen also nicht parallel, sondern durch ein ständiges Hin- und Herwechseln zwischen beiden Teilaufgaben. Wichtigster Indikator für eine integrierende Handlungsplanung sind die dabei an-

fallenden *concurrency costs*, die bereits sichtbar werden, wenn eine zweite Handlung lediglich mental geplant, aber noch nicht gleichlaufend zur ersten Aufgabe ausgeführt wird. Die nachweisliche Existenz dieser *concurrency costs* stimmt am ehesten mit dem traditionellen Aufmerksamkeitskonzept begrenzter Ressourcen überein. Die weiter oben angesprochene gegenseitige Beeinflussung verschiedener neuronaler Aktivitätsmuster durch Übersprechen könnte eine Erklärung dafür sein. Neuronale Aktivitätsmuster können sehr wahrscheinlich nicht beliebig über viele unterschiedliche Pläne skaliert werden, weil eng beieinander liegende Neuronen, die jedoch zu unterschiedlichen Plänen gehören, elektrisch übersprechen könnten und die Sinnhaftigkeit einer neuronalen Aktivierung somit verlorengehe (Neumann, 1992).

Funktionell erforderliche Hemmungsvorgänge beim Einsatz von Fertigkeiten – Der fünfte Erklärungsansatz für die Funktionsweise von Aufmerksamkeit widmet sich den trotz allem messbaren Interferenzen zwischen Aufgaben. Da diese Interferenzen jedoch hoch spezifisch sind und nicht durch ein grobmaschiges Gitternetz multipler Ressourcen klassifiziert werden können, handelt es sich dabei womöglich um eine einzelfallabhängige Konkurrenz um Fertigkeiten. Damit eröffnet sich für Neumann (1992) auch eine Erklärung für die Modulation von Interferenzen durch Übung. Nach diesem Verständnis entstehen durch Übung spezialisierte Fertigkeiten, die die Wahrscheinlichkeit der Überlappung zweier zuvor beteiligten allgemeineren Fertigkeiten verringert. Fertigkeiten interferieren immer dann, wenn ihre konkrete Realisierung durch ähnliche Parameterausprägungen erfolgt. Es ist aber nicht möglich, interferenzfrei gleichzeitig zwei Handlungen auszuführen, die dieselbe Fertigkeit erfordern (Neumann, 1992).

2.2.2 Integration der Ablenkungstheorien

Aus den beiden referierten Theorieströmungen zur Aufmerksamkeit ergibt sich ein praktisch unüberbrückbarer Widerspruch. Der Ressourcenansatz nach Wickens (siehe S. 13) und Boles und Law (siehe S. 16) sowie die Hypothese funktionaler Aufmerksamkeiten sensu Neumann (siehe S. 17) sind in gleichem Maße plausibel wie unvereinbar. Lediglich in der Abkehr von der ursprünglichen Homogenitätsannahme (vgl. Neumann, 1992) stimmen beide Erklärungsversuche überein: Dass Aufmerksamkeit keine einheitliche, singuläre Komponente des Informationsverarbeitungssystems ist, konnte zwischenzeitlich eindrucksvoll gezeigt werden. Unter anderem deshalb formulierte Wickens sein Mehr-Ressourcenmodell. Weiterhin strittig ist dagegen die sogenannte Dualitätsannahme, die den Kern des Ressourcenverständnisses bildet. Demzufolge stellen Aufmerksamkeitsressourcen ein Energiereservoir dar, mit dessen Hilfe Informationsverarbeitungsprozesse – falls erforderlich – angetrieben werden. Wickens und McCarley (2008) sprechen in diesem Zusammenhang metaphorisch von *fuel*, also Treibstoff für die Informationsverarbeitung. Derart energetisierte Aufmerksamkeitsprozesse zeichnen sich durch drei Funktionsmerkmale aus: Begrenztheit, Selektivität und Bewusstheit (Neumann, 1992; vgl. auch S. 13). Der Energievorrat (*fuel*) ist begrenzt. Weil er ein knappes Gut ist – *scarce commodity* (Wickens, 1991) –, muss er verwaltet, das heißt den um ihn konkurrierenden Prozessen selektiv zugewiesen werden. Da diese Aufmerksamkeitssteuerung vorwiegend absichtsvoll geschieht, sind Aufmerksamkeitsprozesse bzw. ihre Ergebnisse bewusst repräsentiert. Komplementär dazu liegen automatische Prozesse, die keinerlei Aufmerksamkeit benötigen und unabhängig von Absichten vollzogen werden. Neumann (1992) schildert zahlreiche empirische Befunde, die der Dualitätsannahme widersprechen. Informationsverarbeitungsprozesse sind bezogen auf Begrenztheit, Selektivität und Bewusstheit nicht vollständig gegensätzlich. Tatsächlich zeigen sich Übertretungen. Zum Beispiel kann Aufmerksamkeit auch unbeabsichtigt zugewiesen werden (unwillkürliche Aufmerksamkeit). Ebenso können automatische Prozesse intentional vollzogen werden (z. B. Fehrer-Raab-Effekt). Nicht zuletzt zeigen sich Inkonsistenzen innerhalb von aufmerksamskeitsbasierten Prozessen. Je nach Instruktion können in identischen Doppelaufgabenkonstellationen Interferenzen auftreten oder ausbleiben, abhängig davon, ob die Aufgaben möglichst schnell oder möglichst genau bearbeitet werden sollen.

Lässt man die Aussagen zum kaum besser verstandenen Phänomen der Bewusstheit außer Acht, markieren Selektivität und Begrenztheit die Sollbruchstelle in der widerspruchsfreien, konsistenten Beschreibung von Aufmerksamkeit. Während bei Wickens Aufmerksamkeit selektiv zugeteilt wird, weil ihr Vorrat begrenzt ist, argumentiert Neumann genau entgegengesetzt: Aufmerksamkeit erscheint begrenzt, weil sie selektiv sein muss. Selektivität ist im funktionalen Ansatz die Ursache, im Ressourcenmodell hingegen die Folge einer empirisch unbestritten evidenten Limitierung von Aufmerksamkeitsprozessen. Oder anders ausgedrückt: Setzt man Aufmerksamkeit mit einer Ressource gleich, *ist* sie begrenzt. Nimmt man Neumanns funktionale Perspektive ein, *erscheint* sie begrenzt (Neumann, 1992).

Kaum erleichtert wird die Festlegung auf eine der beiden Theorielinien durch das uneinheitliche Bild, das die Ressourcenmodelle, unabhängig von ihrer Unvereinbarkeit mit dem funktionalen Ansatz, abgeben. So kritisieren Boles und Law (1998) die mangelnde Eindeutigkeit von Wickens' Theorie multipler Ressourcen. Durch die Verankerung einer übergreifenden Quasiressource in Form der Stufen der Informationsverarbeitung (vgl. S. 14) unterläuft es ihrer Ansicht nach den eigentlichen Kerngedanken der Ressourcenhypothese, der die Konkurrenz um disjunkte kapazitätsbegrenzte Energiemengen für Leistungseinbußen in Doppelaufgabensituationen verantwortlich macht. Aufgrund dieser Stufendimension können zwei Aufgaben offenkundig schon allein dann interferieren, wenn sie sich zeitlich überlappen, so dass sich ihre jeweiligen Enkodierungs-, Verarbeitungs und Antwortprozesse wechselseitig stören. Eine genaue Spezifizierung der Enkodierung, zentralen Verarbeitung und Verhaltensantwort, zum Beispiel hinsichtlich ihres Ressourcenbedarfs auf den übrigen Dimensionen, wäre in diesem Fall nicht mehr nötig. Zusätzlich löst sich Wickens vom Ressourcengrundsatz, indem er weitere allgemein wirksame, nicht unmittelbar ressourcengebundene Interferenzursachen zulässt.

Tatsächlich verschwimmt das eigentlich sehr scharf gezeichnete Mehrfachressourcenmodell durch Zusatzannahmen, die Wickens in das Modell eingebracht hat und ohne die eine differenzierte Aufklärung von Doppelaufgabendekrementen erschwert wird. Die Vorhersage von Interferenzen in Doppelaufgabensituationen muss laut Wickens und McCarley (2008) insgesamt sechs Faktoren berücksichtigen. Der wichtigste Moderator für den Ressourceneinsatz ist die bereits mit der Gleichung 2.1 verdeutlichte Aufgabenschwierigkeit (*task difficulty*). Daneben ist natürlich das Ausmaß der Inanspruchnahme gleicher Aufmerksamkeitsressourcen auf den vier oben erläuterten Dimensionen ein entscheidendes Bestimmungsstück für die Bearbeitungsleistung (*multiple resource similarity*). Paradox wirkt sich die Aufgabenähnlichkeit aus. Eine hohe Ähnlichkeit der Aufgaben kann Dekremente durch Kooperation (*cooperation*) sowohl vermindern als auch durch Konfusion (*confusion*) vergrößern (Wickens, 1991; Wickens & McCarley, 2008). Dabei scheint folgende Regularität zu gelten: Wenn die Verarbeitungsroutinen zweier Aufgaben (*stimulus-response mapping, control dynamics, response timing*) einander angenähert werden, profitiert die Doppelaufgabenleistung davon. Wenn die semantische oder physikalische Repräsentation des Aufgabenmaterials große Übereinstimmungen zeigt, scheint eine Konfusion der Aufgaben einzusetzen (Wickens, 1991). Leistungseinbußen sind dann die Folge. Mit Vorrang (*preemption*) benennen Wickens und McCarley (2008) einen weiteren Mechanismus, der die Leistung in Doppelaufgabenbedingungen determiniert. Er bezieht sich auf die priorisierte Verarbeitung von Reizen, wenn diese in spezifischen Modalitätskonfigurationen auftreten. Zum Beispiel wird in einigen Situationen auditorische Information der einen Aufgabe gegenüber visueller Information der zweiten Aufgabe bevorzugt verarbeitet, wodurch – konträr zu den Voraussagen des Ressourcenwürfels, die eine multimodale Reizdarbietung empfehlen – die Doppelaufgabenleistung sinken kann. Schlussendlich hängt ein Großteil der Bearbeitungsgüte auch und vor allem von individuellen Strategien der Ressourcenzuweisung ab (*overall task management strategy of resource allocation*).

Eines der größten Probleme der Ressourcentheorien besteht in der schlüssigen Rechtfertigung der durch das jeweilige Modell in zweifacher Weise getroffenen Ressourcenentscheidung. Warum haben sich die Urheber der Theorie erstens für genau jene und zweitens gegen möglicherweise weitere Ressourcen entschieden? An diesem Punkt ist diese Theorieströmung ihrer größten Kritik ausgesetzt. Der Ressourcenwahl haftet immer eine gewisse Willkürlichkeit an. Im Prozess

der Theoriebildung ist die Gefahr eines Ressourcenwildwuchses omnipräsent. Sind neue empirische Befunde nicht mit der jeweiligen Ressourcentheorie kompatibel, etwa weil durch das Modell prognostizierte Interferenzen ausbleiben, müsste konsequenterweise eine zusätzliche Ressource postuliert werden (Neumann, 1992); ein Vorgehen, das dem wissenschaftstheoretischen Gebot der Sparsamkeit widerspricht. Beispielsweise hat Wickens (2002) seine Modellannahme um die Dichotomie der fokalen und ambienten Vision erweitert. Die Hinzunahme einer taktilen Ressource zur Dimension der Modalitäten ist überdies sehr wahrscheinlich (vgl. Wickens, 2008a). Wie granular Ressourcentypen ausdifferenziert werden können, zeigt Boles, der nach zunächst 11 (Boles & Law, 1998), über 14 (Boles et al., 2007; vgl. Tabelle 2.3) zwischenzeitlich 17 Ressourcen vorschlägt (Boles et al., 2007).

Um einer ungebremsten Zunahme von Ressourcen zu begegnen, hat Wickens (2008a) zwei Kriterien formuliert, die erfüllt sein müssen, bevor eine weitere Ressource Bestandteil des dimensionalen Aufbaus zumindest seiner Theorie werden kann. Erstens sollten die Dimensionen, das heißt die Dichotomien des Modells, neuropsychologisch plausibel sein. Sie sollten sich ebenso komplementär in anatomischen Strukturen des Gehirns wiederfinden, wie sie durch das Modell beschrieben sind. Für die vier Dichotomien seines Modells sieht Wickens diese Bedingung erfüllt. Zweitens sollten die Dichotomien einen eindeutigen praktischen Nutzwert für die proaktive Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen besitzen. Anhand der Dichotomien sollte der Systemgestalter in die Lage versetzt werden, eine optimale, möglichst interferenzfreie Mensch-Maschine-Interaktion für Doppelaufgabensituationen auslegen zu können.

Gleichzeitig bedient Wickens weiterhin auch das entgegengesetzte theoretische Extrem. Trotz seiner nunmehr sehr komplexen Aufmerksamkeitstheorie mit ihren zahlreichen reiz- und aufgabenkonfigurationsspezifischen Differenzierungen und der sehr aufwendigen Begründung bzw. Abgrenzung der Ressourcendichotomien lassen Wickens und Hollands (2000) weiterhin die ursprüngliche starke Übergeneralisierung auf eine Einzelressource als allgemeine Dekrementursache zu. Viele Doppelaufgabeneinbußen können ihrer Ansicht nach ebenso mit nur einer singulären Aufmerksamkeitsressource erklärt werden. Für die Autoren verhält sich die Theorie multipler Ressourcen komplementär zur Einfachressourcenannahme. Dieser erneute Bezug zur gemeinhin entkräfteten Homogenitätsannahme verdeutlicht das Dilemma einer anwendungsorientierten Aufmerksamkeitsforschung. Mit den Ressourcentheorien standen lange Zeit handhabbare Daumenregeln für die aufmerksamkeits- bzw. ablenkungsfreundliche Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen zur Verfügung. Mit zunehmender Reife der Theorien, insbesondere der Hinzunahme weiterer Ressourcen und Wirkmechanismen, büßen sie jedoch ihre Einfachheit und damit ihre unkomplizierte Anwendbarkeit ein.

Neumanns (1987; 1992) funktionaler Ansatz ist nur scheinbar sparsamer. Bei ihm besteht zwar keine Gefahr des Ressourcenwildwuchses, eine ähnliche Gefahr eröffnet sich jedoch durch das Konzept der Fertigkeiten. Bereits Hirst (1986) hat darauf hingewiesen, dass es nicht im Interesse eines umfassenden Erkenntnisgewinns liegen kann, das Konzept der Ressourcen einfach durch den Begriff der Fertigkeiten zu ersetzen (vgl. Renner, 1995).

Eine umfassende Theorie, die alle vorliegenden empirischen Befunde aufklären kann, steht nicht zur Verfügung. Die größte Annäherung liegt möglicherweise, je nach Standpunkt, mit Wickens' aktuellen Detaillierungen der *Multiple Resource Theory* oder mit Neumanns funktionalem Zugang vor. Jedoch erschweren beide Modelle im Anwendungsumfeld eine eindeutige und konsistente Operationalisierung. Der Fertigkeitserwerb durch Übung bei Neumann, die sich zum Teil widersprechenden Effekte von *Preemption*, *Confusion* und *Cooperation* bei Wickens sowie der allgemeine Einfluss der Motivation, der sowohl durch Wickens (z. B. *overall task management strategy of resource allocation*) als auch durch Neumann (z. B. Einfluss der Instruktion) betont wird, weichen den angestrebten Determinismus beider Zugänge auf. Heuer (1996) gesteht den Mehrfachressourcentheorien zumindest einen gewissen praktischen Nutzen zu. Sie können als gedankliches Werkzeug für die Ableitung einer groben Vorhersage über die Größe von Leistungseinbußen in einer spezifischen Doppelaufgabentätigkeit verwendet werden.

2.2.3 Annahme spezifischer Ablenkungseffekte

Die Stufendimension des Würfelmodells der Theorie multipler Ressourcen bringt zum Ausdruck, dass eine Konkurrenz zweier Aufgaben um die Dichotomie Wahrnehmung und Kognition auf der einen Seite sowie Handlungsantwort auf der anderen Seite Quellen einer messbaren Ablenkung darstellen. Wickens und Hollands (2000) sagen, man könne die Stufen der Informationsverarbeitung getrennt voneinander untersuchen. Insbesondere für den Bereich der Kraftfahrzeugführung wäre es lohnenswert zu untersuchen, ob sich innerhalb dieser Dimension die Ressource Wahrnehmung – Kognition stärker differenzieren lässt. Das Modell denkt eine konzeptionelle Trennung beider Informationsverarbeitungsprozesse an, vollzieht in seiner vorliegenden Form aber keine klare Grenzziehung zwischen disjunkt wahrnehmungsbasierten Doppelaufgabendeckrementen und davon unabhängigen rein kognitiv begründeten Leistungseinbußen bei Doppelaufgabentätigkeiten. Die Erkenntnisse aus der bisherigen wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit perzeptiven und kognitiven Funktionsprinzipien der menschlichen Informationsverarbeitung lassen diesen Schluss in einer derart absoluten Form nicht zu. Aus anwendungspraktischer Sicht stellt sich diese Frage jedoch durchaus. Insbesondere bei der Ausgestaltung von Fahrerinformationssystemen ließe sich zum Beispiel nach Ursachen visueller und kognitiver Ablenkung fragen, um diese Systeme in der Entwicklungsphase optimal für beide Informationsverarbeitungsprozesse auszulegen. Ein Fahrerinformationssystem könnte beispielsweise deshalb stark von der Fahrzeugführungsaufgabe ablenken, weil sein Display ausgeprägte Blickabwendungen vom Verkehrsgeschehen erfordert oder weil eine zu kleine Schrift gewählt wurde, die nur schwer und nur bei intensivem Hinschauen zu entziffern ist. Daneben könnte das System trotz optimaler Schriftgröße und perfekter Displayposition stark vom Verkehrsgeschehen ablenken, weil Menüstruktur und Dialogverhalten die schnelle Bildung einer mentalen Landkarte und eines Verständnisses der Funktionsprinzipien des Systems verhindern. Aus Symptomsicht kann ein Fahrerinformationssystem folglich durchaus visuell oder kognitiv ablenken.

Dass es kognitive Ablenkung gibt, die augenscheinlich nichts mit Wahrnehmungsprozessen zu tun hat, zeigen Untersuchungen zum Telefonieren während der Fahrt. Es ist klar belegt, dass ein Telefongespräch während der Autofahrt in starkem Maße die sichere Fahrzeugführung beeinträchtigt, obwohl der Fahrer weder seinen Blick von der Straße abwendet, noch motorisch überlastet ist. Auditorische Wahrnehmungseffekte können dafür nicht verantwortlich gemacht werden, denn ein Gespräch mit dem Beifahrer lenkt bekanntlich deutlich weniger ab als ein Telefonat. Dies zeigt sich im Fahrsimulator und im realen Straßenverkehr auch bei Verwendung einer Freisprecheinrichtung (z. B. Brown, Tickner & Simmonds, 1969; Young, Regan & Hammer, 2003; Cooper & Strayer, 2008).

Engström und Markkula (2007) akzentuieren die anwendungspraktische Sicht auf das Abgelenktsein während der Fahrt. Sie betonen die Trennbarkeit von visueller (*eyes off the road*) und kognitiver Ablenkung (*mind off the road*). Im ersten Fall ist der Fahrer abgelenkt, weil er seinem Blick nicht dem Verkehrsgeschehen widmet. Im zweiten Fall ist er schlicht gedanklich nicht bei der Sache. Engström, Johansson und Östlund (2005) zitieren zahlreiche Untersuchungen, die spezifische Effekte visueller und kognitiver Ablenkung aufzeigen. In einer umfangreichen Studie, die sowohl im Simulator als auch im realen Straßenverkehr durchgeführt wurde, fanden Engström et al. (2005) heraus, dass visuelle und kognitive Zusatzbeanspruchung während der Fahrt die Fahrleistung jeweils qualitativ verschieden beeinflussen. Dazu betrachteten die Autoren unterschiedliche objektive und subjektive Maße, wie Geschwindigkeit, Spurhalteleistung, Lenkradbewegungen, Blickbewegungen und Selbsteinschätzungen der Fahrleistung. Eine zusätzliche visuelle Last führte zur Rücknahme der Geschwindigkeit und zu einer erhöhten Spurhaltevarianz (*lane keeping variation*). Demgegenüber hatte eine kognitive Zusatzbeanspruchung keinerlei Auswirkung auf die Geschwindigkeit. Die Spurhaltevarianz indessen reduzierte sich. Zusätzlich wurde durch kognitive Zusatzbeanspruchung die Fokussierung des Blicks auf die Straßenmitte (*gaze concentration towards the road centre*) erhöht. Engström et al. (2005) schlussfolgern daraus, dass Ablenkung durch Fahrerinformationssysteme kein eindimensionales

Phänomen darstellt, sondern eine Kombination aus Phänomenen des visuellen *Time Sharings* (visuelle Ablenkungskomponente) und kognitiver Last (kognitive Ablenkungskomponente) ist.

Engström und Markkula (2007) untersuchten mit Hilfe des Lane Change Test-Verfahrens (siehe Mattes, 2003) ebenfalls die Effekte visueller und kognitiver Ablenkung. Der Lane Change Test besteht aus einer Folge von hinweisreizinduzierten Spurwechseln. Für jeden dieser Spurwechsel gibt es einen normativen Idealpfad. Der Grad der Abweichung von diesem Pfad gilt als Leistungs- bzw. als Ablenkungsindikator. Engström und Markkula leiteten aus den Ergebnissen ihrer Lane Change Test-Untersuchungen spezifische Effekte der beiden Ablenkungsqualitäten ab. Im Lane Change Test führte visuelle Ablenkung zu einer verringerten Pfadhaltegüte. Kognitive Ablenkung beeinflusste die Signalerkennung sowie die daraus abgeleitete Wahl der richtigen Antwortreaktion und zeigte sich in ausbleibenden Spurwechseln, obwohl diese klar angezeigt waren.

Baumann, Rösler, Krems und Keinath (2005) bewegen sich zwar nicht im engeren Sinne im theoretischen Rahmen der Theorie multipler Ressourcen, sondern untersuchen Aufmerksamkeit und Ablenkung bei der Kraftfahrzeug unter dem Blickwinkel des Konzepts Situationsbewusstsein, dennoch unterstellen auch sie, dass kognitive Anforderungen durch Zusatzaufgaben getrennt von visuellen erfasst werden können. Situationsbewusstsein beschreibt einen integrierten mentalen Wissenszustand über die aktuelle Situation – das Situationsmodell –, der entlang dreier Ebenen gebildet wird (Endsley, 1995). Die Erste Ebene umfasst die Wahrnehmung der relevanten Objekte der Situation. Auf der zweiten Ebene werden die verschiedenen Elemente der Situation mental zu einem bedeutungshaltigen Gesamtbild der Situation integriert. Auf der dritten Ebene wird anhand der Verstehensprozesse auf Ebene zwei eine Prognose über das künftige Verhalten der Situationselemente getroffen (Wickens, 2008b). Wie die zugrundeliegenden Mechanismen der Wahrnehmung, Kognition und Handlungsausführung beschaffen sind, klärt die Theorie zunächst nicht. Diese Platzhalter müssen mit Hilfe bereits bestehender Theorien besetzt werden (Baumann, Petzold & Krems, 2006). Beispielsweise greifen Baumann et al. (2005) zur Erklärung der Komponente Handlungsauswahl auf die Theorie der Handlungsauswahl und -steuerung von Norman und Shallice (1980) zurück. Die Bildung des sogenannten Situationsmodells, der Grundlage des Situationsbewusstseins, verorten sie im Arbeitsgedächtnis (vgl. Baddeley, 1986).

Zur genauen Erfassung der Determinanten des Situationsmodells und eventueller Störeinflüsse schlagen Baumann et al. (2006) eine Methode vor, die die getrennte Erfassung von Anforderungen an visuelle Aufmerksamkeitsprozesse und an das Arbeitsgedächtnis ermöglicht, wie sie durch Zweitaufgaben während der Fahrt verursacht werden (siehe auch Baumann et al., 2005). Von besonderem Interesse ist für die Autoren Abgelenktheit, die nicht mit Blickabwendung zu erklären ist. Diesen Zustand des *looked, but did not see* führen sie auf kognitive Ablenkung zurück. Im Verständnis von Baumann et al. (2006) sind dann Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses, die für eine Informationsintegration notwendig sind, durch andere Aufgaben belegt, die nicht mit der Fahrzeugführung in Verbindung stehen. Sinnesreize werden zwar wahrgenommen, aber nur unzureichend weiterverarbeitet. Die Autoren entwickelten eine kontextabhängige Wahlreaktionsaufgabe, die als Zweitaufgabe zusätzlich zur Fahrzeugführung dargeboten wird. Die Aufgabe wurde in Anlehnung an das *Peripheral Detection Task*-Paradigma konstruiert (vgl. Martens & van Winsum, 2000). Es musste kontextabhängig in unterschiedlicher Weise auf visuelle Reize im peripheren Gesichtsfeld der Probanden reagiert werden. Die Entdeckungsrate, das heißt, ob überhaupt auf den Reiz reagiert wurde, galt hierbei als Maß der visuellen Ablenkung. Mit zunehmender visueller Ablenkung sollte die Entdeckungsleistung sinken. Die Zahl der richtigen Reaktionen, die Trefferrate, galt als Maß der kognitiven Ablenkung. Je geringer die Trefferrate ausfiel, desto stärker war die unterstellte kognitive Abgelenktheit. In beiden Fällen hat die Wahlreaktionsaufgabe den Status der Sekundäraufgabe. Die Untersuchungen zur Validierung der Messmethode sind noch nicht abgeschlossen.

Eine sehr stark formalisierte Verankerung der konzeptionellen Trennung zwischen visueller und kognitiver Ablenkung findet sich in Wickens' (2002) Modellierungsbemühungen von Aufgabeninterferenzen auf der Grundlage der Theorie multipler Ressourcen. Das Modell basiert unter

anderem auf der Erkenntnis von Sarno und Wickens (1995) aus einer Validierungsstudie dreier Modelle zur Berechnung von *Workload* in Mehrfachaufgabensituationen, dass diejenigen Modelle, die eine Multidimensionalität menschlicher Informationsverarbeitung implementieren einen höheren *fit* zu den Messdaten der verwendeten Validierungsaufgabe aufweisen. Das von Wickens (2002) entwickelte *Computational Model of Task Interference* trägt der Multidimensionalität von Informationsverarbeitungsressourcen Rechnung, indem es sich an den Ressourcenwürfel seiner Theorie multipler Ressourcen anlehnt. Dieses Modell soll Vorhersagen über zu erwartende Interferenzen und Aufgabendekremente ermöglichen, sofern das Ausmaß der Inanspruchnahme der jeweiligen Einzelressourcen, zum Beispiel in Form von Aufgabenschwierigkeitswerten, bekannt ist. Das *Computational Model of Task Interference* wurde durch Horrey und Wickens (2003) einer Validierung unterzogen. Die zu erwartende Interferenz zweier Aufgaben wird in einem vierstufigen Prozess berechnet (Horrey & Wickens, 2003). Für die nachfolgenden Erläuterungen des Algorithmus wird auf das einfache Beispiel von Wickens (2002) zurückgegriffen, das er ab Seite 171 seines Artikels anführt.

Zunächst muss für die Berechnung der Aufgabeninterferenzen eine Konfliktmatrix vorliegen (*Conflict Matrix*), die Angaben über die Art und Anzahl der Ressourcen des zugrunde gelegten Modells der Informationsverarbeitung enthält. Weiterhin beinhaltet die Konfliktmatrix den eigentlichen Konfliktwert, der Auskunft über das Ausmaß der wechselseitigen Störung zweier Aufgaben bei gleichzeitiger Inanspruchnahme dieser Ressourcen gibt. Der Konfliktwert kann Ausprägungen zwischen null (kein Konflikt bzw. vollständige parallele Ressourcennutzung möglich) und eins (totaler Konflikt bzw. keine parallele Ressourcennutzung möglich) annehmen. Die Tabelle 2.4 zeigt eine sehr einfache Konfliktmatrix, die nur aus den Ressourcen *Perceptual Cognitive* (PC) und *Response* (R) besteht (siehe Wickens, 2002). Totale Konkurrenz (Konfliktwert 1.0) besteht hier beispielsweise, wenn beide Aufgaben die Ressource R in Anspruch nehmen. Das bedeutet im vorliegenden Beispiel, dass die Ressource, die für eine Handlungsantwort erforderlich ist, jeweils nur für eine der beiden Aufgaben zur Verfügung steht. Die perzeptiv-kognitive Ressource (PC) kann indessen, verbunden mit starken Einbußen, gleichzeitig durch beide Aufgaben genutzt werden. Gleichwohl bringt der Konfliktwert von .80 zum Ausdruck, dass die parallele Aufgabenausführung deutlich schlechter, langsamer oder fehleranfälliger erfolgt als bei einer jeweiligen Einzelbearbeitung. Dass auch eine Handlungsantwort gewisse perzeptiv-kognitive Anteile enthält, wird durch den Konfliktwert .30 in der entsprechenden Zelle der Matrix deutlich. Erfordert die erste Aufgabe perzeptiv-kognitive Aktivität und die zweite eine Handlungsantwort, ist beides zum gleichen Zeitpunkt nur mit geringerer Qualität oder Geschwindigkeit möglich als bei einer zeitlich getrennten Bearbeitung.

Tabelle 2.4

Vereinfachte Konfliktmatrix mit den Ressourcen *Perceptual Cognitive* (PC) und *Response* (R) für die beispielhafte Erläuterung der Berechnung von Aufgabeninterferenzen im Rahmen des *Computational Model of Task Interference* (Wickens, 2002)

	PC	R
PC	.80	.30
R	.30	1.00

Nachdem die Konfliktmatrix vorliegt, kann die Interferenz von Aufgaben berechnet werden. Im ersten von vier Schritten werden die sogenannten *Demand Vectors* (Beanspruchungsvektoren) der Teilaufgaben bestimmt. Mit einstelligen numerischen Werten zwischen null und maximal vier wird das Ausmaß der Inanspruchnahme der konkreten Ressource durch die Aufgabe ordinalskaliert festgelegt. Dieser Wert kann auch als Äquivalent der Aufgabenschwierigkeit oder Aufgabenkomplexität bezüglich dieser Ressource betrachtet werden. Die Zuordnung von 0 bedeutet, die Aufgabe beansprucht diese Ressource nicht. Ein Wert von 2 oder 3 steht für eine mittlere bzw. starke Inanspruchnahme der Ressource durch die Aufgabe. Bei der Vergabe dieser Beanspruchungswerte kommt es weniger auf deren absolute Größe an als vielmehr auf die

Größenbeziehungen zwischen allen in die Berechnung einbezogenen Aufgaben. Eine größere Ressourcenbeanspruchung sollte sich über alle Aufgaben hinweg in einem höheren Zahlenwert widerspiegeln als eine geringe Ressourceninanspruchnahme. Im vorliegenden Beispiel werden drei Aufgaben A, B und C mit den Beanspruchungsvektoren A [2,0], B [1,1] und C [1,2] der Ressourcen PC und R betrachtet. Aufgabe A beansprucht demnach die Ressource PC mit dem Wert 2 (in Relation zu den übrigen Aufgaben eine große Beanspruchung) und die Ressource R mit dem Wert 0 (keine Beanspruchung).

Im zweiten Schritt wird mit Hilfe der Beanspruchungsvektoren die *Demand Component* (Beanspruchungskomponente) des Berechnungsmodells ermittelt. Die Beanspruchungskomponente ergibt sich als Summe aus den Durchschnittswerten der Beanspruchungsvektoren beider Aufgaben. Aus der Tabelle 2.5 wird die Berechnung der Beanspruchungskomponente für die Aufgaben A, B und C mit ihren jeweiligen Beanspruchungsvektoren deutlich. Das arithmetische Mittel des Beanspruchungsvektors der Aufgabe A ist 1, $(2 + 0) / 2 = 1$. Der entsprechende Wert für die Aufgabe C lautet 1.5, $(1 + 2) / 2 = 1.5$. Die Paarung beider Aufgaben führt somit zu einer Beanspruchungskomponente von 2.5, $1 + 1.5 = 2.5$ (siehe Tabelle 2.5, Zeile 5).

Tabelle 2.5

Beispielrechnung zur Ermittlung der Gesamtaufgabeninterferenz anhand der Beanspruchungs- und der Konfliktkomponente im Rahmen des *Computational Model of Task Interference* (Wickens, 2002)

Task	Demand Component	Conflict Component	Total Interference
AA	$1 + 1 = 2$	$0.8 + 0 + 0 + 0 = 0.8$	2.8
BB	$1 + 1 = 2$	$0.8 + 1 + 0.3 + 0.3 = 2.4$	4.4
CC	$1.5 + 1.5 = 3$	$0.8 + 1 + 0.3 + 0.3 = 2.4$	5.4
AB	$1 + 1 = 2$	$0.8 + 0 + 0.3 + 0 = 1.1$	3.1
AC	$1 + 1.5 = 2.5$	$0.8 + 0 + 0.3 + 0 = 1.1$	3.6
BC	$1 + 1.5 = 2.5$	$0.8 + 1 + 0.3 + 0.3 = 2.4$	4.9

Als nächstes wird im dritten Schritt die *Conflict Component* (Konfliktkomponente) des *Computational Model of Task Interference* berechnet. Die Konfliktkomponente ergibt sich als Summe derjenigen Konfliktwerte der Konfliktmatrix (siehe Tabelle 2.4), deren Zellen durch beide Aufgaben beansprucht werden. Für die Aufgabenpaarung AC ergibt sich im vorliegenden Beispiel die Konfliktkomponente 1.1 als Summe aus 0.8 (die Ressourcen PC und PC werden gleichzeitig von A und C beansprucht), 0 (die Ressourcen R und PC werden nicht gleichzeitig von A und C, sondern nur von C beansprucht – keine Ressourcenkonkurrenz zwischen A und C), 0.3 (die Ressourcen PC und R werden gleichzeitig von A und C beansprucht) und 0 (die Ressourcen R und R werden nicht gleichzeitig von A und C, sondern nur von C beansprucht – keine Ressourcenkonkurrenz zwischen A und C). Das heißt, immer dann, wenn beide Aufgaben jeweils beide Ressourcen der Konfliktmatrix beanspruchen, wird der Zellenwert der Matrix in die Berechnung der Konfliktkomponente einbezogen. Beansprucht nur eine der beiden Aufgaben beide Ressourcen, liegt kein Ressourcenkonflikt vor. In die Konfliktkomponente geht an dieser Stelle der Wert 0 ein. Aus der Berechnung der Konfliktkomponente wird deutlich, dass die Vergabe eines Beanspruchungswertes von null oder größer null im ersten Schritt der Beanspruchungsvektorbestimmung von kritischer Bedeutung ist, da sich damit entscheidet, ob der korrespondierende Konfliktmatrixwert in die Berechnung eingeht oder nicht. In den Versuchen drei und vier, die im empirischen Teil dieser Arbeit beschrieben werden, wurde eine aktive Nullsetzung des Beanspruchungswertes vollzogen, um das *Computational Model* für das dort verwendete experimentelle Paradigma nutzbar machen zu können.

Zuletzt kann in Schritt vier die Gesamtaufgabeninterferenz (*Total Interference*) durch Addition der Beanspruchungs- und der Konfliktkomponente errechnet werden. Für das Aufgabenpaar AC ergibt sich eine Gesamtaufgabeninterferenz von 3.6, $2.5 + 1.1 = 3.6$.

Zusammenfassend lässt sich das Berechnungsmodell mit Wickens (2002) folgendermaßen beschreiben: Jede Aufgabe kann als Vektor dargestellt werden, der ihre Ressourcenbeanspruchung verkörpert. Dieser Vektor trifft sowohl eine quantitative als auch eine qualitative Aussage zur Ressourcennutzung. Das Modell berechnet die Leistungsabnahme in einer oder in beiden Aufgaben anhand der Ressourceninanspruchnahme bei Einzelausführung, indem der Aufgabenvektor bei Einzelausführung auf die Doppelaufgabenbearbeitung übertragen wird. Die Berechnung des Dekrements beruht auf dem Axiom, dass zwei Dinge bestraft werden; zum einen eine hohe Gesamtanforderung beider Aufgaben und zum anderen der Wettstreit beider Aufgaben um die gleichen Ressourcen. Das Modell trifft keine Aussage darüber, in welchem Ausmaß die beiden Aufgaben beeinträchtigt werden. Dafür sind Zusatzannahmen zur *Allocation Policy*, also zur Priorisierung der Aufgaben nötig.

Für das Modell multipler Ressourcen hat Wickens (2002) eine Konfliktmatrix erstellt, die im Rahmen des Modells universell verwendet werden kann und die natürlich komplexer ausfällt als die Beispielmatrix in der Tabelle 2.5. Wickens (2002) hat die Herleitung der Konfliktwerte der Matrix ausführlich beschrieben. An dieser Stelle sei lediglich das Ergebnis seiner Überlegungen in Form der mit der Tabelle 2.6 abgebildeten Konfliktmatrix dokumentiert.

Tabelle 2.6

Konfliktmatrix der Dimensionen des Modells multipler Ressourcen am Beispiel der Demand Vectors zweier Aufgaben (Horrey & Wickens, 2003) (V: Visual, A: Auditory, C: Cognitive, R: Response, f: Focal, a: Ambient, s: Spatial, v: Verbal)

			Driving Task							
			Perceptual				Cognitive		Response	
			Vf	Va	As	Av	Cs	Cv	Rs	Rv
Ex.			1	1	0	0	1	0	1	0
In-Vehicle Task	Vf	2	0.8	0.6	0.6	0.4	0.7	0.5	0.4	0.2
	Va	0		0.8	0.4	0.6	0.5	0.7	0.2	0.4
	As	0			0.8	0.4	0.7	0.5	0.4	0.2
	Av	0				0.8	0.5	0.7	0.2	0.4
	Cs	0					0.8	0.6	0.6	0.4
	Cv	1						0.8	0.4	0.6
	Rs	0							0.8	0.6
	Rv	1								1.0

Natürlich ist diese Matrix nicht verpflichtend für Untersuchungen im Rahmen der Theorie multipler Ressourcen. Anhand der Herleitung von Wickens (2002) können alternative und auch reduzierte Matrizen aufgestellt werden, die beispielsweise nur einige der Ressourcen berücksichtigen. Allerdings sollten vor allem bei der anschließenden Implementierung einige Punkte beachtet werden (Wickens, 2002). So sollten Konflikte nur zwischen verschiedenen Aufgaben und nicht zwischen Ressourcen innerhalb einer Aufgabe berechnet werden, da im letzten Fall der Konflikt in der Regel null wäre, weil eine Aufgabe in sich sequentiell getaktet ist. Darüber hinaus sollte der ermittelte Zahlenwert mit Vorsicht interpretiert werden. Nicht der konkrete numerische Wert einer Konfiguration ist maßgeblich. Der eigentliche Nutzen des Modellzugangs liegt im Vergleich der Ergebnisse von verschiedenen Konfigurationen. Weiterhin sollten die Beanspruchungswerte nicht zu granular vergeben werden. Die grobe Vergabe von zwei oder drei Beanspruchungsstufen neben der Null (keine Inanspruchnahme) ist in der Regel hinreichend, um Dekremente zu identifizieren und Dekrementrelationen zwischen verschiedenen Aufgabenkonstellationen beurteilen zu können. Besteht Unsicherheit darüber, wie die Schwierigkeit einer Aufgabe mit den beteiligten Ressourcen verknüpft ist, sollte eine lineare Beziehung über alle Ressourcen unterstellt werden. Das heißt, eine Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit sollte sich in allen Werten des Beanspruchungsvektors gleichermaßen wiederfinden.

Bemerkenswert an der Matrix von Wickens (2002) ist die nunmehr mathematisch vollzogene Trennung zwischen wahrnehmungs- und kognitionsbezogenen Ressourcen, die separat in die Berechnung von Aufgabendekrementen eingehen. Zumindest in der Theorie können daran orientiert Beanspruchungsvektoren konstruiert werden, die entweder ausschließlich kognitive oder exklusiv visuelle Ressourcen beanspruchen. Ein Doppelaufgabendekrement käme in diesem Fall allein durch die Beanspruchungskomponente des Modells zustande, also allein durch die Tatsache, dass beide Aufgaben Ressourcen beanspruchen, ganz gleich welcher Art. Ebenso ließen sich den voneinander getrennten Ressourcen im Sinne des Titels dieser Arbeit spezifische Ablenkungseffekte zuordnen.

2.2.4 Messung von Fahrerablenkung – Das Doppelaufgabenparadigma

Mit dem Begriff Doppelaufgabe wird eine experimentelle Anordnung beschrieben, in der von der Versuchsperson zwei Aufgaben zeitgleich bearbeitet werden. Insbesondere in der Aufmerksamkeitsforschung sind Doppelaufgabenexperimente weit verbreitet, da mit ihrer Hilfe diejenigen Mechanismen und Regularien menschlicher Informationsverarbeitung untersucht werden können, die nicht unmittelbar zugänglich und deshalb nur indirekt gemessen werden können (Johannsen, 1976; Pew, 1979). Paradigmatischen Charakter haben Doppelaufgabenexperimente erlangt, weil sie das methodische Fundament bilden, aus dem all jene Theorieströmungen hervorgegangen sind, die Aufmerksamkeit als ein begrenztes Gut beschreiben.

Neben ihrer Funktion als Methode der Wahl für die Entwicklung und Prüfung von Aufmerksamkeits-theorien haben Doppelaufgaben eine lange Tradition der praktischen Anwendung bei der Untersuchung von Arbeitstätigkeiten des Menschen, zum Beispiel der Kraftfahrzeugführung und dabei insbesondere der Fragestellungen zu Belastung, Beanspruchung und Ablenkung. Somit gehören Doppelaufgaben in gleicherweise zum Methodenrepertoire der Grundlagenforschung und der angewandten Wissenschaften (Heuer, 1996; Rolfe, 1971). Heuer (1996) und Neumann (1996) heben hervor, dass diese Rollenteilung zwischen Untersuchungsmethode und Untersuchungsgegenstand nicht unproblematisch ist, denn dabei besteht die Gefahr des Zirkelschlusses: Doppelaufgabeneffekte werden mit Theorien der Doppelaufgabenbearbeitung begründet. Gleichzeitig entstehen diese Theorien auf der Grundlage empirisch ermittelter Doppelaufgabeneffekte.

In der deutsch- und englischsprachigen Literatur finden sich für dieses Paradigma zahlreiche Alternativbegriffe, wie Nebenaufgaben, Zusatz-tätigkeiten, Doppeltätigkeiten, Doppelarbeitsmethode oder im Englischen *secondary task*, *loading task* und *subsidiary tasks*, die entweder synonym verwendet werden oder theoriebedingte Konnotationen hinsichtlich der Priorisierung einer der beiden Aufgaben und hinsichtlich des Untersuchungsziels besitzen, was beispielsweise an den Begriffen *Nebenaufgabe* oder *loading task* deutlich wird. Damit wird das immer gleiche Untersuchungsziel benannt: Der Grad der menschlichen Auslastung bei der Informationsverarbeitung ist nicht direkt messbar. Er soll bestimmt werden, indem mit einer simultan auszuführenden Aufgabe die vorhandene Restkapazität – *spare mental capacity* – gemessen wird.

Das Zusammenspiel der Doppelaufgaben im Experiment lässt sich unter zwei Gesichtspunkten betrachten. Heuer (1996) trennt in Modelle, deren Funktionsprinzip Konkurrenz darstellt und in Modelle, die eine Wechselwirkung zwischen beiden Aufgaben annehmen. Bislang ist es nicht gelungen, ein integratives Modell zu entwickeln. Heuer (1996) sieht beide Ansätze aufgrund fehlender gegenteiliger Belege vorerst als komplementär an. Die Theorienlandschaft wird derzeit von Konkurrenzmodellen dominiert, deren zentrales Postulat in der Begrenztheit eben jener Entität, die Aufmerksamkeit ermöglicht, besteht.

Die Idee, die Leistungsfähigkeit der menschlichen Informationsverarbeitung mit Hilfe von Doppelaufgaben zu messen, wird seit langer Zeit intensiv verfolgt. Schon Bornemann hat in den vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts vermutet, dass sich das Leistungsvermögen einer konkreten Anforderungsdimension ermitteln lassen sollte, indem diese Aufgabe zeitgleich mit einer

anderen Aufgabe, die eine ähnliche Anforderungsstruktur besitzt, durchgeführt wird. Aus den Leistungseinbußen bei der Gesamtbearbeitung gegenüber der Einzelbearbeitung beider Aufgaben sollte sich seiner Ansicht nach auf die absolute Leistungsfähigkeit einer Person schließen lassen.

Bornemanns (1942a) umfangreiche Untersuchungen zum Grad der geistigen Beanspruchung können als eine der ersten systematischen Betrachtungen zur Methode der Doppelaufgabentätigkeit gelten. Er verwendete Doppelaufgaben als Technik zur Beurteilung des Einzelmerkmals der geistigen Beanspruchung einer Aufgabe. Den zugrundeliegenden Mechanismus umschrieb er mit dem Begriff der *psychischen Funktion*. Damit nahm er den später einflussreichen Gedanken der generalisierten Kapazität vorweg (Heuer, 1996).

Eine anschauliche Zusammenfassung der einflussreichsten Theorien der Doppelaufgabentätigkeit seit Bornemann gibt Heuer (1996). Unverändert blieb eben jenes zugrundeliegende Prinzip der Aufgabenkonkurrenz, das allen nennenswerten Theorien der Doppelaufgabentätigkeit gemein ist. Dieses Prinzip besagt, dass die zeitgleiche Bearbeitung zweier Aufgaben entweder zu einer wechselseitigen Beeinträchtigung der Aufgaben führt (Leistungseinbußen in einer oder in beiden Aufgaben). Dann wird davon ausgegangen, dass beide Aufgaben den selben Informationsverarbeitungsmechanismus belegen. Oder sie sind parallel ohne Beeinträchtigung durchführbar. Dann nehmen sie unterschiedliche Informationsverarbeitungsmechanismen in Anspruch oder die Ressource, aus der sich der Mechanismus energetisiert, ist nicht über ihre Grenze hinweg ausgeschöpft (Pew, 1979), zunächst völlig losgelöst davon, wie diese Ressource beschaffen ist und wie viele es davon gibt. Die Theorieströmungen unterscheiden sich in erster Linie in qualitativen und quantitativen Aspekten dieser Informationsverarbeitungsmechanismen; das heißt, was ist darunter zu verstehen und wie viele unterscheidbare Mechanismen gibt es. Die Tabelle 2.7 fasst die Konkurrenzmodelle der Doppelaufgabentätigkeit zusammen. Die Reihenfolge der Nennung entspricht dem historischen Auftreten der Modelle (von links nach rechts und von oben nach unten).

Tabelle 2.7
Doppelaufgabenmodelle in Anlehnung an Heuer (1996)

		Konkurrenzprinzip / Entitätenzuordnung	
		sequentiell (alles oder nichts)	gleichzeitig (graduell)
Anzahl Entitäten	1	Ein-Kanal-Modelle	Kapazitätsmodelle
	> 1	Mehr-Prozessor-Modelle	Mehr-Ressourcen-Modelle

Das Forschungsfeld der Doppelaufgabentätigkeit wurde lange Zeit von den sogenannten Ein-Kanal- und von den Kapazitäts-Modellen geprägt, die Bornemanns Ansatz aufgreifen. Im Kern sagen diese Modelle aus, dass gleichzeitig auszuführende Aufgaben um eine zentrale Entität konkurrieren, die phänomenologisch der psychischen Funktion Bornemanns gleichkommt. Doppelaufgabendeckremente sind nach diesem Verständnis das Ergebnis der Konkurrenz um diese unitäre zentrale Entität (Heuer, 1996). Ein-Kanal- und Kapazitäts-Modelle unterscheiden sich hinsichtlich der angenommenen Zuteilung der zentralen Entität zu den Teilaufgaben (siehe Tabelle 2.7). Während die Zuordnung bei Ein-Kanal-Modellen rein digital erfolgt, das heißt zu einem bestimmten Zeitpunkt kann die Entität nur einer der beiden Aufgaben zuteil werden, dies aber in vollem Umfang, kann bei Kapazitätsmodellen die zentrale Entität abgestuft gleichzeitig beiden Aufgaben zugewiesen werden. Im Mittel über die Zeit ergeben sich jedoch bei beiden Modellen identische geschätzte Verteilungen der Entität zu beiden Aufgaben (Heuer, 1996). Das erste Modell zeichnet sich durch Zeitaufteilung aus, das zweite durch Kapazitätsaufteilung. Bei den Ein-Kanal-Modellen wird ein zentraler Mechanismus nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip entlang der Zeitachse im Wechsel der einen oder der zweiten Aufgabe zugewiesen, bei Kapazitätsmodellen teilen sich die Einzelaufgaben abgestuft und gleichzeitig die generalisierte Kapazität. Diese Kapazität ist nach oben begrenzt.

Die Modelle mehrfacher Prozessoren und Ressourcen stellen im Wesentlichen eine Erweiterung der Ein-Kanal-Modelle und der Kapazitäts-Modelle um zusätzliche Kanäle oder Kapazitäten dar. Die funktionalen Grundannahmen der Konkurrenz und absoluten Begrenztheit bleiben bestehen. Mehr-Prozessor-Modelle erweitern die Ein-Kanal-Modelle um zusätzliche Prozessoren, die auf die Bearbeitung bestimmter Aufgabentypen spezialisiert sind. Jeder einzelne der Prozessoren kann zu einem bestimmten Zeitpunkt nur eine Teilaufgabe bearbeiten (*time sharing*), die verschiedenen Prozessoren können aber gleichzeitig aktiv sein. Die Modelle multipler Ressourcen übertragen den Kapazitätsgedanken auf mehrere Ressourcen. Teilressourcen können graduell gleichzeitig mehreren Aufgaben zugewiesen werden. Mehr-Ressourcen-Modelle sind die allgemeinste Klasse von Modellen der Doppeltätigkeit, die auf der Konkurrenzannahme fußen (Heuer, 1996). Sie beinhalten als Grenzfall auch die Mehr-Prozessor-Modelle.

Aus der Domäne der angewandten Wissenschaften gingen zum Teil sehr detaillierte Impulse für die genaue Ausgestaltung der experimentalen Doppelaufgabensituation und die dabei zu beachtenden Faktoren hervor, die durch O'Donnell und Eggemeier (1986) überblicksartig zusammengetragen wurden. Ob und inwiefern diese Überlegungen heute noch Bestand haben, hängt von der zugestandenen Gültigkeit der zum damaligen Zeitpunkt vorherrschenden Theorieströmungen zur Doppelaufgabentätigkeit ab, die in erster Linie zur Klasse der Alles-oder-nichts-Modelle, das heißt der Ein-Kanal- und der Mehr-Prozessor-Modelle zu zählen sind. Charakteristisch für Doppelaufgabenstudien und unabhängig von der Beschaffenheit des Informationsverarbeitungssystems bleibt der vergleichende methodische Zugang, bei dem die Leistung der gemeinsamen Aufgabenbearbeitung mit der Leistung der Einzelbearbeitung der Aufgaben in Beziehung gesetzt wird (vgl. Odgen, Levine & Eisner, 1979).

Sowohl Rolfe (1971) als auch Odgen et al. (1979) umreißen das Begriffssystem der Typen der Zweitaufgabenbearbeitung. Die Autoren beziehen sich dabei auf Knowles (1963). Die alleinige Durchführung zweier Aufgaben entspricht nach ihrem Verständnis noch nicht hinreichend einer Zweitaufgabengabenstudie. Ausschlaggebend sei das *loading* sowie die systematische Kontrolle und Erfassung der Leistungen und Leistungsdekremente. Nach Odgen et al. (1979) wird immer dann von Zweitaufgabentechnik gesprochen, wenn erhoben werden soll, wie viel zusätzliche Arbeit die Versuchsperson bei unveränderter (hoher) Leistung in der Primäraufgabe verrichten kann. Diejenige Aufgabe, deren Leistungsdynamik von eigentlichem Interesse ist und zu der zusätzliche Aufgaben hinzugefügt werden, wird als Primäraufgabe bezeichnet. Die hinzugefügten Aufgaben heißen Zweitaufgaben (Rolfe, 1971). Für Odgen et al. (1979) ist die Zweitaufgabentätigkeit damit ein Spezialfall des Doppelaufgabenparadigmas bzw. der Doppelaufgabentätigkeit, bei der zunächst per se keine der beiden beteiligten Aufgaben priorisiert wird.

Damit wird die Instruktion durch den Versuchsleiter bzw. die implizite Betonung einer Aufgabe durch Belohnung (Odgen et al., 1979) zum zentralen Moderator für die Leistung in beiden Aufgaben und zum Bestimmungsstück für den Typus der Doppelaufgabentätigkeit. Durch Instruktion und Belohnung können Leistungseinbußen in gewisser Weise aktiv zwischen Haupt- und Sekundäraufgabe verschoben werden, je nachdem welcher Aufgabe Bearbeitungspriorität zukommen soll. Rolfe (1971) betont ebenfalls den Instruktionsaspekt, stellt aber zugleich fest, dass in vielen Doppelaufgabenexperimenten nicht explizit zwischen dem Stressen der Primäraufgabe durch Instruktion einer perfekten Bearbeitung der Zweitaufgabe oder der Bestimmung der Gesamtbearbeitungskapazität durch Instruktion einer perfekten Bearbeitung der Primäraufgabe unterschieden wird. In einigen Fällen erfolgt auch gar keine Instruktion. Auch Odgen et al. (1979) stellen in einer umfangreichen Literatursichtung fest, dass in vielen Versuchen nicht eindeutig instruiert wird, welcher Aufgabenbearbeitung Priorität gelten soll. In diesem Fall definiert zum Beispiel die Tempovorgabe der Aufgaben ihre Bedeutsamkeit. Aufgaben, deren Tempo systemgetaktet (*system-paced*) vorgegeben ist, können in der Regel als Primäraufgaben angesehen werden. Subjektgetaktete (*subject-paced*) Aufgaben fallen oft automatisch auf den Status der Sekundäraufgabe zurück. Johannsen (1976) fordert ebenfalls, dass die Versuchsperson zu jedem Zeitpunkt des Experiments wissen muss, welche Aufgabe als Primär- und welche als Sekundäraufgabe gilt, damit klar ist, welcher Aufgabe das Hauptaugenmerk gilt. Gleichwohl erkennt er an, dass dies nur unzureichend möglich und nur bis zu einem gewissen Grad kontrollierbar ist.

Auch O'Donnell und Eggemeier (1986) verweisen auf die instruktionsabhängige Prioritätenverschiebung zwischen Primär- und Sekundäraufgabe, aus der zwei unterschiedliche experimentelle Paradigmen resultieren. Je nachdem ob die Betonung auf der Primär- oder der Sekundäraufgabe liegt, sprechen die Autoren vom *Loading Task*- oder vom *Subsidiary Task*-Paradigma. Im *Loading Task*-Paradigma werden die Versuchspersonen instruiert, die Zweitaufgabenleistung auch auf Kosten der Primäraufgabe konstant hoch zu halten. Schwierige Primäraufgaben zeigen bei diesem Zugang stärkere Einbußen als leichte Primäraufgaben. Die Zweitaufgabenleistung wird kontinuierlich gemessen, um sicher zu sein, dass sie über alle experimentellen Bedingungen hinweg auf konstant hohem Niveau bearbeitet wurde. Die gemessene Leistungsabnahme in der Primäraufgabe kann dann als Indikator für die variationsabhängige Primäraufgabenlast herangezogen werden. Im häufiger angewandten *Subsidiary Task*-Paradigma wird umgekehrt verfahren. Die Probanden werden instruiert, Primäraufgabendeckremente auf Kosten der Zweitaufgabe zu vermeiden. Hierbei geht es nicht darum, den Anspannungsgrad der Erstaufgabe zu erhöhen, sondern zu bestimmen, wie viel Zusatzlast noch hinzugefügt werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass die Grundleistung (*Baseline*) der Primäraufgabe auch der Primäraufgabenleistung in der Doppelaufgabensituation entspricht. Das Ausmaß der beeinträchtigungsfreien Hinzunahme einer Zweitaufgabe ist dann das Maß für die Restkapazität, die nicht von der Primäraufgabe belegt wurde. Dieser Zugang ist jedoch nur gültig, wenn eine Kompensation oder Interaktion der Aufgaben ausgeschlossen werden kann. Die Primäraufgabenleistung darf bei zusätzlicher Applikation einer Zweitaufgabe nicht besser werden; ein Befund der durchaus möglich ist (siehe Heuer, 1996). Des Weiteren beruht dieses Paradigma auf der Grundannahme, dass die Verursacher von Beanspruchung bzw. Workload unabhängig von ihrer Quelle linear additiv wirken (O'Donnell & Eggemeier, 1986).

Neben der Priorisierung der Teilaufgaben durch Instruktion und Belohnung werden Doppelaufgabenversuche maßgeblich durch die Wahl der Teilaufgaben determiniert. Johannsen (1979) weist auf drei Schwierigkeiten beim Einsatz von Nebenaufgaben hin. So sind erstens verschiedene Arten von Haupt- und Nebenaufgaben nicht beliebig kombinierbar. Auf allen Stufen der Informationsverarbeitung (Perzeption, Kognition und Motorik) können Interferenzen zwischen den Aufgaben auftreten. Zweitens bleibt die Leistung in der Hauptaufgabe in der Regel nicht unbeeinflusst von der Nebenaufgabe. Leistungsdekremente sind also nicht nur in der Nebenaufgabe, sondern auch in der Hauptaufgabe zu verzeichnen. Eine Nebenaufgabe muss folglich so gewählt werden, dass dieser Effekt möglichst gering ist. Zusätzlich muss durch die Instruktion unzweifelhaft deutlich werden, welche der Aufgaben die Hauptaufgabe, das heißt die Aufgabe mit der höchsten Priorität, ist (vgl. oben). Und drittens treten je nach Hauptaufgabe unterschiedliche Qualitäten von Interferenzen mit ein und derselben Nebenaufgabe auf. Es besteht also immer die Gefahr, dass in Wahrheit nicht der Ressourcenbedarf, sondern der jeweils spezifische, aufgabenkonstellationsabhängige Interferenzstatus gemessen wird. Daraus folgt unmittelbar, dass es keine idealtypische, immer gültige und bei allen Hauptaufgaben gleichermaßen anwendbare Nebenaufgabe für die Messung von Beanspruchung geben kann.

Im Theoriegebäude der Alles-oder-nichts-Modelle (Ein-Kanal-Modelle, Mehr-Prozessor-Modelle) konnten sehr konkrete Forderungen an Nebenaufgaben formuliert werden, um dem Ziel der genauen Messung der verfügbaren mentalen Restkapazität möglichst nahe zu kommen (Knowles, 1963; Johannsen, 1979). So sollte die Hauptaufgabe zum Beispiel nicht oder nur wenig von der Nebenaufgabe gestört werden. Die Nebenaufgabe sollte leicht erlernbar sein und nur geringe interindividuelle Schwankungen aufweisen. Das Tempo der Informationsverarbeitung der Nebenaufgabe sollte durch die Versuchspersonen selbst bestimmt werden können. Nicht zuletzt sollten die Haupt- und die Nebenaufgabe zueinander kompatibel sein, ohne zu starke Interferenzen aufzuweisen.

Knowles (1963), Rolfe (1971), Odgen et al. (1979) und Johannsen (1976) haben umfangreiche Aufgabensammlungen zusammengetragen, mit dem Ziel, idealtypische Zweitaufgaben für die Erfassung mentaler Beanspruchung (*Workload*) zu identifizieren. Auch Pew (1979) strebte eine universelle Zweitaufgabe für die Messung von Workload an. Dieses Ziel ist zwischenzeitlich obsolet. Bei der Konstruktion von Testbatterien geht es nunmehr eher darum, der Multidi-

mensionalität der menschlichen Informationsverarbeitung, zum Beispiel im Rahmen der Theorie multipler Ressourcen, gerecht zu werden (O'Donnell & Eggemeier, 1986). Färber (1987) betont ebenfalls, dass es nicht die eine universelle Nebenaufgabe gibt, sondern dass fallweise entschieden werden müsse, welche Nebenaufgabe für die konkrete Fragestellung am besten geeignet ist. Schließlich betont Johannsen (1979): Zusatztätigkeiten werden nicht einfach komplementär zur Hauptaufgabe ausgeführt. Es entsteht immer eine jeweils spezifische Mehraufgabensituation (Multitaskingsituation), die durch einen schnellen zeitlichen Wechsel zwischen den Teilaufgaben bewältigt wird. Folglich kann diese eine Zusatzaufgabe nur dann ausgeführt werden, wenn dafür ausreichend Zeit zur Verfügung steht. Zusatzaufgaben beanspruchen also nicht nur Informationsverarbeitungskapazität, sondern unabhängig davon zunächst erst einmal Zeit.

Kapitel III. Fragestellung und allgemeine Hypothesen

Eines der zentralen Ziele bei der Entwicklung von Fahrerinformationssystemen ist die ablenkungsoptimale Auslegung der Mensch-Maschine-Interaktion. Insbesondere die Ressourcentheorien bilden, wie oben ausgeführt wurde, ein sinnvolles theoretisches Fundament für die Untersuchung von Ablenkung (siehe Abschnitt 2.2.1, Seite 12). Vor allem Wickens' *Theorie multipler Ressourcen* legt dabei eine differenzierte Betrachtung möglicher Ablenkungsursachen nahe, die auf einer genauen Analyse der an der Bearbeitung der jeweiligen Aufgabenkonstellation beteiligten Aufmerksamkeitsressourcen basiert (siehe Abschnitt 2.2.1, Seite 13).

Im Anwendungsfeld der Fahrzeugführung werden mit visueller Ablenkung (*eyes off the road*) und kognitiver Ablenkung (*mind off the road*) zwei bedeutsame Ausprägungen eines Doppelaufgabendeckrements diskutiert, die sich unmittelbar aus der Stufendimension der Theorie multipler Ressourcen ergeben (vgl. Bach et al., 2009; Liang & Lee, 2010). In Abschnitt 2.2.3 wurden die entsprechenden Untersuchungen von Engström und Markkula (2007) berichtet. In zahlreichen Studien wurde versucht, diese beiden Ablenkungsqualitäten bzw. Ablenkungstypen methodisch zu fokussieren (z. B. Baumann et al., 2006; Baumann et al., 2009; Brown et al., 1969; Engström & Markkula, 2007; Knappe, Keinath & Meinecke, 2006; Kutila et al., 2007; Liang, 2009; Liang & Lee, 2010; MacDonald & Hoffmann, 1980; Östlund et al., 2006; Renner, 1995; Rogers, Zhang, Kaber, Liang & Gangakhedkar, 2011; Victor, 2005). Die Befundlage ist jedoch uneinheitlich und zum Teil widersprüchlich. In den genannten Studien ist Ablenkung vornehmlich durch Verhalten auf der Stabilisierungs- oder auf der Bahnführungsebene der Fahrzeugführung operationalisiert worden, zum Beispiel anhand der Spurhaltegröße, anhand von spezifischen Lenkradbewegungen oder wie im Lane Change Test mit Hilfe einfacher Manöver im Rahmen des Wahlreaktionsparadigmas. Einen Überblick über die am häufigsten berichteten Erfassungsmethoden von Fahreraufmerksamkeit respektive Ablenkung geben Bach et al. (2009). Dazu analysierten die Autoren 100 relevante Veröffentlichungen zu diesem Thema. In 76 Prozent der Veröffentlichungen wurde Ablenkung/Aufmerksamkeit über Maße der Längs- und der Querführung operationalisiert (laterale Kontrolle: 41 Veröffentlichungen, longitudinale Kontrolle: 35 Veröffentlichungen). Das Navigationsverhalten und mithin die Navigationsebene der Fahrzeugführung wurde bislang in der Verkehrsforschung vernachlässigt (Burns, 1998).

Das Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (siehe Abschnitt 2.1.2) führt zu einer differenzierteren Sicht auf die Quellen von Ablenkung und ihre Auswirkung auf die Güte der Fahrzeugführung. Das Verhalten auf der Stabilisierungsebene erfolgt stark fertigkeitstypisch und hoch automatisiert. Kognitive Prozesse hingegen sind im Vergleich dazu eher selten und am bedeutendsten für die Verhaltensregulation auf der Navigationsebene. Visuelle Ablenkung wirkt unmittelbar auf die informatorische Basis der fertigkeitstypischen und der regelbasierten Verhaltenskomponenten der Handlungsregulation (vgl. S. 6), nämlich die Signale (*signals*) und die Zeichen (*signs*). Beide werden verzögert oder gar nicht wahrgenommen. Die Folge sind Störungen der Stabilisierung und der Bahnführung des Fahrzeugs. Die Navigation des Fahrzeugs erfolgt hingegen – wie oben diskutiert – problemlösend, überwiegend wissensbasiert anhand von internalisierten Symbolen (*symbols*). Sofern die Symbole oder Teile davon wahrnehmungsabhängig sind, ist dieser Wahrnehmungsbezug in aller Regel deutlich weniger zeitkritisch als bei den Signalen oder Zeichen. Kognitive Ablenkung führt demzufolge womöglich nicht unmittelbar zu Änderungen des Steuerungs- oder Regelungsverhaltens auf der Stabilisierungsebene, weil diese Ebene nicht in dem Maße von der durch kognitive Ablenkung gestörten Informationsverarbeitung auf der

Navigationsebene abhängig ist; und falls doch, dann allenfalls punktuell. Bislang setzen jedoch nahezu alle fahrleistungsbezogenen Messverfahren auf der Stabilisierungsebene der Fahrzeugführung an und vernachlässigen die übergeordneten Ebenen. So enthält die Literaturübersicht von Bach et al. (2009) keine Studien, in denen Ablenkung auf der Navigationsebene der Fahrzeugführung erfasst wurde.

Die Befunde zum Lenkverhalten von Brown et al. (1969) und Liang und Lee (2010) sowie zur Spurhalteleistung von Engström et al. (2005) lassen sogar vermuten, dass kognitive Ablenkung gegenüber visueller Ablenkung zu einer Verhaltensunterdrückung führen könnte, die sich durch ein weniger stark oszillierendes Regelungs- und Steuerverhalten des Fahrers äußert (vgl. auch Kutila et al., 2007). Eine zuverlässige Messung wäre in diesem Fall zusätzlich erschwert. Sollte eine durch die Zweitaufgabe verursachte kognitive Last indessen tatsächlich bis zur Stabilisierungsebene durchstoßen, wäre sie nur schwer von visuellen Effekten zu trennen, da visuelle Ablenkung vermutlich stärker mit der Fahrzeugführung interferiert als kognitive Ablenkung. Die visuellen Effekte würden die kognitiven Effekte überstrahlen (Liang & Lee, 2010).

Die vorliegende Arbeit versucht die Frage zu beantworten, ob visuelle Fahrerablenkung von kognitiver Ablenkung zu trennen ist, indem ihre Auswirkungen auf derjenigen Ebene der Fahrzeugführung und der Handlungsregulation untersucht werden, auf der sie mutmaßlich am nachhaltigsten wirken. Die Abbildung 3.1 verdeutlicht diesen Ansatz schematisch. Visuell-perzeptive Ablenkung soll demnach auf der Stabilisierungs- bzw. Bahnführungsebene und kognitive Ablenkung auf der Navigationsebene erfasst werden. Zunächst unabhängig von Theorien der menschlichen Aufmerksamkeit im engeren Sinne werden differenzierbare Ablenkungseffekte und ihre Operationalisierung allein handlungsregulatorisch begründet. Somit soll die Frage beantwortet werden, ob die Verknüpfung des Drei-Ebenen-Modells der Fahrzeugführung aus Abschnitt 2.1.2 mit den Modellen der Ebenen der Verhaltensregulation (siehe Abschnitt 2.1.1) einen brauchbaren Zugang für die anwendungspraktische Erfassung spezifischer Ablenkungseffekte darstellt. Das heißt, visuelle und kognitive Ablenkung sind im Anwendungsfeld der Fahrzeugführung unterscheidbar, weil ihre Hauptauswirkungen unterschiedliche Ebenen der Fahrzeugführung betreffen. Auch Verwey (2000) sieht einen direkten Zusammenhang zwischen der Ebene der Fahrzeugführung und dem Erleben von *Workload*, das heißt von Beanspruchung. Die Stabilisierungsebene zeigte sich in seinen Versuchen beispielsweise als weniger beanspruchend als die Bahnführungsebene. Deshalb sollte das Augenmerk bei der Beanspruchungs- bzw. Ablenkungsmessung den höheren Ebenen der Fahrzeugführung gelten.

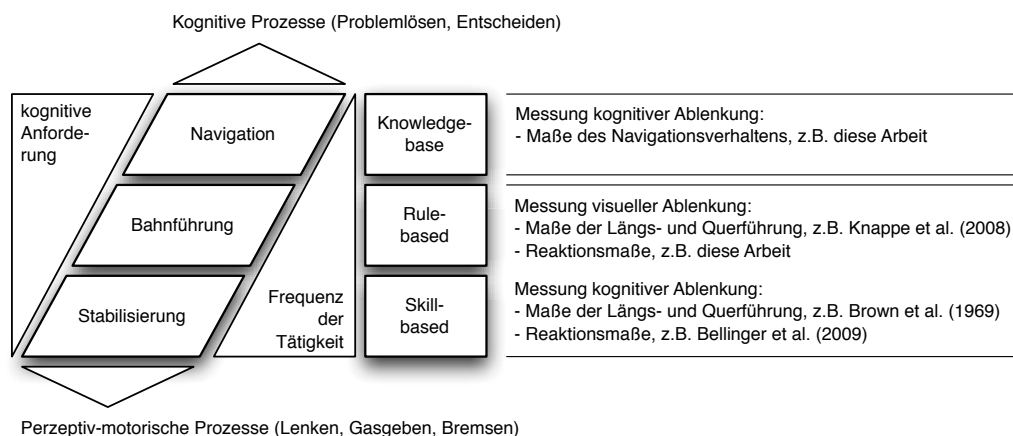


Abbildung 3.1. Gegenüberstellung der Ebenen der Fahrzeugführung und der Ebenen der Verhaltensregulation und daraus abgeleitete Operationalisierungen visueller und kognitiver Ablenkungseffekte.

Da diese phänomenologische Sicht auf Ablenkung durch ausformulierte Theorien der menschlichen Informationsverarbeitung untersetzt werden kann, beispielsweise durch Ressourcentheorien der Aufmerksamkeit, enthält die Fragestellung dieser Arbeit gleichzeitig einen Theorieaspekt: Visuelle und kognitive Ablenkung bei der Fahrzeugführung sind unterschiedliche Phänomene, weil die dadurch jeweils gestörten Informationsverarbeitungsprozesse bei enger Betrachtung im Rahmen der *Theorie multipler Ressourcen* (Wickens, 2002) durch differenzierbare Pole einer Ressource energetisiert werden. Somit soll Wickens' *Theorie multipler Ressourcen* auf der Dimension der *Stages* geprüft und verifiziert werden.

Das Bindeglied zwischen Methoden- und Theorieaspekt dieser Arbeit bildet das *Computational Model of Task Interference* von Wickens (2002). Sollte es sich im Rahmen dieser Arbeit bestätigen, stünde im Idealfall mit den in den folgenden Versuchen verwendeten experimentellen Methoden ein Zugang zur Verfügung, um Schwierigkeitswerte von ablenkenden Zweitaufgaben zuverlässig zu bestimmen und nicht ausschließlich einer rein subjektiven Expertenbeurteilung, wie von Horrey und Wickens (2003) vorgeschlagen, zu überlassen. Das Schwierigkeitsprofil der Ressourcenbeanspruchung ließe sich für jede Teilaufgabe im Fahrzeugführungskontext experimentell ermitteln. Die Verrechnung der Schwierigkeitsprofile mit Hilfe des *Computational Model of Task Interference* würde mutmaßlich zu einer zuverlässigeren Schätzung der wechselseitigen Störungen, das heißt der Ablenkungseffekte, führen.

Kapitel IV. Experimentelle Untersuchung

4.1 Zusammenfassung der experimentellen Untersuchungen

Der Methodenteil dieser Arbeit gliedert sich in die Schilderung von vier Laborexperimenten, die zur Beantwortung der im Abschnitt 3 dargelegten Fragestellung durchgeführt wurden. Dabei widmeten sich die Versuche 1 und 2 der Erfassung visueller Ablenkung, wohingegen in den Versuchen 3 und 4 die Messung kognitiver Ablenkung im Vordergrund stand. Den vier Versuchen war gemein, dass sie in einer auf das Wesentliche reduzierten Laborsituation stattfanden. Die Messtätigkeiten sollten zwar eine Grundähnlichkeit zum Tätigkeitsfeld der Kraftfahrzeugführung aufweisen, dennoch kann hier nicht von der Simulation einer Kraftfahrzeugführung gesprochen werden. In der Versuchsreihe stand die Sicherstellung der internen Validität durch Verdichtung der Primär- und Zweitaufgaben auf ihren erkenntnisrelevanten Kern im Zentrum der Bemühungen. Dieses Vorgehen wird von Sydow und Petzold gestützt (Sydow & Petzold, 1982, S. 16):

„Im psychologischen Experiment wird oft versucht, das Problem der Komplexität dadurch zu überwinden, dass unter sehr eingeschränkten Bedingungen ein sehr spezieller psychischer Prozess untersucht wird, der mitunter auf den ersten Blick keine Gemeinsamkeiten mit einem unter natürlichen Bedingungen beobachtbaren Prozess aufweist.“

Versuch 1 – Erfassung visueller Ablenkung – Während der Bearbeitung einer sehr einfachen visuell-motorischen Reiz-Reaktionsaufgabe wurden die Versuchspersonen durch die zeitlich gestufte Verdeckung der Primäraufgabe (Okklusion) visuell abgelenkt sowie durch die parallele Bearbeitung mentaler Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit (Zählen, Logisches Schließen) kognitiv abgelenkt. Die Hypothese bestand darin, dass visuelle Ablenkung die Leistung in der Primäraufgabe der Reaktion auf wechselnde Reize stärker beeinträchtigt als kognitive Ablenkung. Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden.

Versuch 2 – Erfassung visueller Ablenkung mit angepasster Messmethode – Im Rahmen eines angepassten Versuchszenarios wurden die Versuchspersonen neuerlich durch die zusätzliche Bearbeitung von visuell (Visuelle Suche) und kognitiv (Räumliche Ortung, Gedächtnissuche) beanspruchenden Zusatzaufgaben von der Durchführung der aus Versuch 1 bekannten Reiz-Reaktionsaufgabe abgelenkt. Mit dem zweiten Versuch wurde das Ziel verfolgt, durch Anpassung der Schwierigkeitsgrade der Primäraufgabe und der Zweitaufgabe Decken- und Bodeneffekte zu vermeiden, um mit einer derart revidierten Methode erneut die Hypothese aus Versuch 1 zu prüfen, wonach visuelle Ablenkung die Leistung in der Primäraufgabe stärker beeinträchtigt als kognitive Ablenkung. Die Hypothese konnte bestätigt werden.

Versuch 3 – Erfassung kognitiver Ablenkung – Die Versuchspersonen wurden während der Memorierung der richtigen Wegführung durch einen Kreisverkehr visuell (visuelle Suche) und kognitiv (Zählen, Logisches Schließen, Räumliche Ortung, Gedächtnissuche) abgelenkt. Die Hypothese bestand darin, dass visuelle Ablenkung die mentale Repräsentation und den späteren Abruf der Wegführung weniger stark beeinträchtigt als kognitive Ablenkung. Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden.

Versuch 4 – Erfassung kognitiver Ablenkung mit angepasster Messmethode – Die Primäraufgabe aus Versuch 3 wurde verdichtet und ihr Schwierigkeitsgrad erhöht, da vermutet wurde, dass die postulierten Effekte sehr schwach sind und in der ursprünglichen Realisierung der kognitiv beanspruchenden Primäraufgabe nicht durchstoßen konnten. Die Revision der Primäraufgabe in Versuch 4 galt der methodischen Zuspitzung und erneuten Prüfung der Hypothese, dass visuelle Ablenkung (Visuelle Suche, Listensuche) die mentale Repräsentation und den späteren Abruf der Wegführung weniger stark beeinträchtigt als kognitive Ablenkung (Logisches Schließen, Routenplanung). Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden.

4.2 Versuch 1 – Erfassung visueller Ablenkung

4.2.1 Einführung

Den konzeptionellen Rahmen des ersten und aller weiteren Experimente, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, bildet – wie in Abschnitt 3 expliziert – das Stufenmodell der Informationsverarbeitung von Wickens und Hollands (2000), das im Abschnitt 2.2.1 vorgestellt wurde und als zweidimensionale Detaillierung der Dimension *Processing Stages* des Würfelmodells (siehe S. 14) verstanden werden kann. Im Fokus von Versuch 1 steht die Stufe der Wahrnehmung. Gemäß dem Anliegen dieser Arbeit soll versucht werden, diese Stufe operational möglichst scharf von der Stufe der Kognition, das heißt dem Arbeits- und dem Langzeitgedächtnis abzugrenzen. Zum einen, um die Gültigkeit des Stufenmodells und damit diesen Ausschnitt der Ressourcenannahme Wickens' zu prüfen. Und zum anderen, um einen zuverlässigen methodischen Zugang zur stabilen, möglichst kognitionseinflussfreien Erfassung visueller Ablenkung zu identifizieren.

Wickens und Hollands (2000) geben eine prägnante Kennzeichnung von Wahrnehmung, die bereits im Abschnitt 2.2.1 ab Seite 14 geschildert wurde. Demnach wird auf der Stufe der Wahrnehmung die sensorische Information interpretiert und mit einer Bedeutung versehen. Wahrnehmung ist durch zwei wesentliche Funktionsprinzipien gekennzeichnet. Erstens, sie erfolgt hoch automatisiert und äußerst schnell, das heißt sie begnügt sich mit einem geringen Maß an Aufmerksamkeitsressourcen. Darin unterscheidet sie sich von kognitiven Prozessen. Zweitens, Wahrnehmung wird durch zwei Eingangsgrößen getrieben und moduliert: durch die eigentliche sensorische Information (*bottom-up processing*) sowie durch Begleitinformation aus dem Langzeitgedächtnis (*top-down processing*). Zum *top-down processing* zählt in erster Linie die kontextgesteuerte Erwartung, unter deren Einfluss jeder Wahrnehmungsvorgang steht.

Greift man diese Gedanken Wickens' auf, sollte es möglich sein, durch eine geschickte experimentelle Gestaltung, die die *bottom-up* gerichteten Wahrnehmungsprozesse betont und kognitionslastige *top-down* Prozesse in den Hintergrund rückt, die beiden Ressourcenpole Wahrnehmung und Kognition gegeneinander zu isolieren. Die Abbildung 4.1 verdeutlicht den Ansatz schematisch (vgl. Abbildung 2.3, S. 15). Die in Versuch 1 im Fokus stehenden Verarbeitungsstufen Wahrnehmung (*Perception*), Wahl der Verhaltensantwort (*Response Selection*) sowie Ausführung der Verhaltensantwort (*Response Execution*) wurden grafisch herausgestellt.

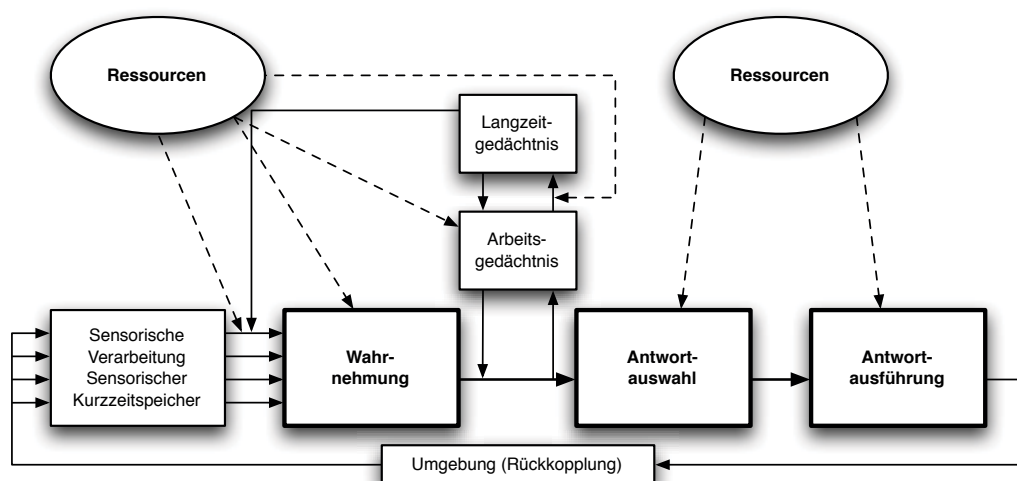


Abbildung 4.1. Stufen der Informationsverarbeitung mit optischer Betonung des Untersuchungsschwerpunkts des ersten Versuchs (modifiziert aus Wickens, 2002 und Wickens & Hollands, 2000).

Obwohl auch Engström et al. (2005) zwischen visueller und kognitiver Ablenkung trennen, betonen sie, dass rein visuell ablenkende Aufgaben im Fahrzeugführungskontext nicht auftreten. Alle visuellen Zusatzlasten beinhalten immer kognitive Komponenten. Hauptsächlich kognitive Anforderungen stellen sich hingegen oft, zum Beispiel beim Telefonieren mit einer Freisprecheinrichtung. Hier wird nun versucht, visuelle und kognitive Prozesse soweit wie möglich voneinander zu trennen. Im ersten Versuch wird angestrebt, visuelle Ablenkung gewissermaßen in Reinform ohne Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses anzubringen. Für den experimentellen Entwurf des ersten Versuchs besteht die Arbeitshypothese darin, dass bei Gültigkeit der Differenzierbarkeit zwischen visueller und kognitiver Ablenkung ausgewählte Leistungsmaße auf visuelle Ablenkung stärker ansprechen sollten als bei kognitiver Ablenkung.

4.2.2 Methode

Stichprobe

An der experimentellen Untersuchung nahmen 26 Versuchspersonen teil. Bei ihnen handelte es sich um Mitarbeiter mit ingenieur- bzw. naturwissenschaftlichem Ausbildungshintergrund aus dem Entwicklungsressort der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, darunter zahlreiche Praktikanten, Diplomanden und Doktoranden. Die Versuchsteilnahme erfolgte freiwillig und wurde nicht entlohnt. Die Tabelle 4.1 fasst die demografischen Eigenschaften der Stichprobe zusammen.

Tabelle 4.1
Stichprobeneigenschaften des ersten Versuchs

N	Alter			Geschlecht	
	min.	max.	Mdn	männlich	weiblich
26	22	44	27	22	4

Material

Primäraufgabe – Die Primäraufgabe sollte im Kern eine perzeptiv-motorische Anforderung verkörpern. Ihre kognitiven Anteile sollten möglichst klein sein. Sie sollte sensitiv auf zusätzliche Wahrnehmungsanforderungen einer Zweitaufgabe reagieren, sich aber möglichst robust gegenüber kognitiver Zusatzlast zeigen. Entsprechend der Grundannahme dieser Arbeit (vgl. Abschnitt 3) sollte es sich um eine Aufgabe handeln, die eine Analogie zur Stabilisierungs- und Bahnführungsebene der Fahrzeugführung darstellt. Somit wurde die Primäraufgabe als sehr einfache Reiz-Reaktions-Aufgabe konzipiert. Die Forderung an die Probanden bestand darin, so schnell wie möglich auf einen visuellen Reiz zu reagieren. Die Richtung der Reaktion war entweder von vornherein determiniert (Einfachreaktion) oder abhängig von der Reizausprägung (Wahlreaktion). Dieser Testzugang wurde semantisch in eine stark vereinfachte Verkehrssituation eingebettet, die in Abbildung 4.2 dargestellt ist. In der Methodenklassifikation von Bach et al. (2009) fällt der gewählte Zugang der Messung von Fahrerablenkung in die Kategorie *No Driving* (in Abgrenzung zu den Kategorien *Simulated Driving*, *Controlled Driving* und *Real Traffic Driving*). Die Primäraufgabe wurde in der Programmiersprache C# für die .Net-Laufzeitumgebung des Betriebssystems Windows XP realisiert.

In der Mitte einer stilisierten Straße wurde ein für Europa typisches Vorschriftzeichen einer Geschwindigkeitsbeschränkung angezeigt, das eine Soll-Geschwindigkeit vorgab. Unterhalb des Verkehrszeichens wurde die aktuelle Ist-Geschwindigkeit einer gedachten Geradeausfahrt eingeblendet. In zufallsgesteuerten Wechselintervallen von 1500 ms, 3000 ms und 4500 ms änderte sich der vorgegebene Soll-Geschwindigkeitswert. Der Proband musste daraufhin so schnell wie

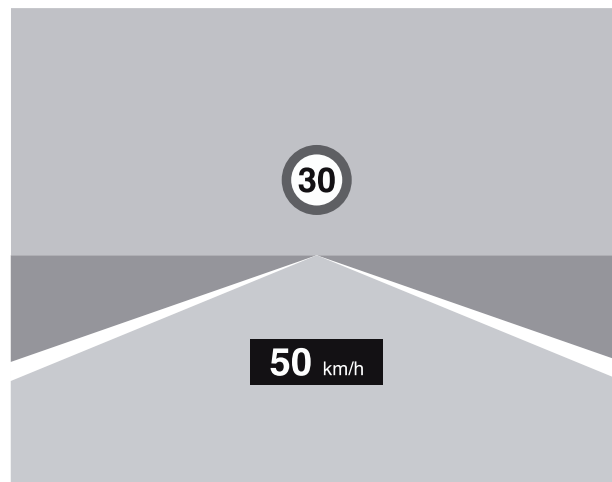


Abbildung 4.2. Bildschirmdarstellung der Primäraufgabe des ersten Versuchs.

möglich seine Geschwindigkeit anpassen, indem er mit den Pfeiltasten \uparrow oder \downarrow der PC-Tastatur seine gefahrene Geschwindigkeit entsprechend der Soll-Vorgabe nach oben oder nach unten korrigierte. Da es hierbei lediglich auf die Erfassung der initialen Reaktion auf den Wechsel der Geschwindigkeitsvorgabe ankam, genügte ein einzelner Tastendruck, um die Passung zwischen Ist-Geschwindigkeit (angezeigter Tachometerwert) und Soll-Geschwindigkeit herzustellen. Es handelte sich somit nicht um einen mehrstufigen, komplexen Regelvorgang, sondern um den Vorgang einer singulären Reizantwort in Form eines Tastendrucks. Dieser Anforderung wurde unterstellt, hauptsächlich visuell-motorische Informationsverarbeitungsressourcen zu beanspruchen. Ihre kognitive Last galt als kaum bedeutsam.

Um die durch die Primäraufgabenbearbeitung verursachten Effekte der visuell-perzeptiven Informationsverarbeitung identifizieren und beurteilen sowie gegen kognitive Effekte abgrenzen zu können, wurde die Aufgabe auf der Dimension der visuellen Erkennbarkeit und auf der kognitiven Dimension der Vorhersagbarkeit der geforderten Reaktion variiert. Die Erkennbarkeit des Verkehrszeichens ließ sich sehr einfach mit Hilfe des Figur-Grund-Kontrasts beeinflussen. In der Basisvariante (einfache Erkennbarkeit) ist das Verkehrszeichen mit schwarzer Schrift auf weißem Grund dargestellt worden. In der zweiten Variante (schwere Erkennbarkeit) wurde der schwarz dargestellte Geschwindigkeitswert auf grauem Grund angezeigt. Das Ausmaß der Antizipierbarkeit der geforderten Reaktion konnte durch die Realisierung der Reaktionsaufgabe entweder als Einfachreaktions- und demgegenüber als Wahlreaktionsaufgabe variiert werden. Bei der Einfachreaktionsanforderung wechselten die angezeigten Geschwindigkeitsvorgaben zwischen den beiden Werten 30 und 80. Für die Versuchsperson war dadurch zu jedem Zeitpunkt vollständig vorhersehbar, in welche Richtung sich die Geschwindigkeit verändern würde. Der geforderte Tastendruck (\uparrow oder \downarrow) war determiniert. Reaktionsunsicherheit wurde durch die Darbietung von vier Soll-Geschwindigkeitswerten 30, 50, 70 und 90 provoziert. Da der Wechsel zwischen den Geschwindigkeitswerten zufällig auf- bzw. absteigend erfolgte, ohne Geschwindigkeitswerte zu überspringen, war die geforderte Reaktion zwar beim kleinsten Wert 30 und beim größten Wert 90 determiniert. Bei den mittleren Geschwindigkeitsvorgaben 50 und 70 konnte die nächste Reizantwort jedoch nicht antizipiert werden. Das darauf folgende Verkehrszeichen konnte sowohl eine größere als auch eine kleinere Geschwindigkeit vorgeben. Derartige Wahlreaktionsaufgaben erfordern im Vergleich zu Einfachreaktionsaufgaben größere kognitive Aktivität, da für die adäquate Reaktion hinweisgebende Informationsbestandteile des Reizes berücksichtigt werden müssen. Der Reiz muss kategorisiert und die passende Antwortreaktion bereitgestellt werden. Beides bindet kognitive Ressourcen (Teichner & Krebs, 1974).

Zweitaufgabe Okklusion (visuelle Ablenkung) – Das Okklusionsverfahren gilt im automobilen Umfeld inzwischen als etabliertes experimentelles Paradigma der Ablenkungsmessung. Es wurde vor allem von der Chemnitzer Forschungsgruppe um Josef F. Krems eingehend untersucht (z. B. Gelau, Keinath, Baumann, Bengler & Krems, 1999a; Gelau, Keinath, Baumann, Bengler & Krems, 1999b; Krems, Keinath, Baumann, Gelau & Bengler, 2000; Keinath, Baumann, Gelau, Bengler & Krems, 2001; Baumann, Keinath, Krems & Bengler, 2004; Krems et al., 2004). Die Okklusionsmethode dient der systematischen Herstellung und Variation von Blickzu- und -abwendungen, wie sie bei der gleichzeitigen Bearbeitung zweier Aufgaben typisch sind. Ihre Reliabilität gilt als ausreichend gesichert (Gelau, Henning & Krems, 2009). Ob mit diesem Verfahren die Blickabwendung weg von der Primäraufgabe oder weg von der Sekundäraufgabe erzwungen wird, hängt vom gewählten experimentellen Vorgehen ab. Beide Varianten sind möglich und üblich. Bei nahezu allen Studien dieser Art wird eine so genannte PLATO-Shutterbrille (vgl. Milgram, 1987) verwendet.

Üblicherweise dient die Okklusionsmethode der Prüfung der Interaktionsgüte eines Fahrerinformationssystems in Bezug auf die erforderliche Anzahl der Blickabwendungen, die Dauer der nötigen Blickabwendung und die Unterbrechbarkeit der Bedienungsaufgabe. Der Kerngedanke besteht darin, mit der Okklusionsbrille die Hauptanforderung für den visuellen Kanal, nämlich die Abwendung vom Fahrerinformationssystem bzw. die Hinwendung zum Verkehrsgeschehen zu simulieren. Die Phasen der Okklusion entsprechen denjenigen Phasen bei der Fahrzeugführung, in denen der Blick nicht dem Fahrerinformationssystem zugewandt werden kann, weil sein Verbleib bei der Verkehrssituation aktuell erforderlich ist. Für diesen Anwendungsfall ist die Okklusionsmethode zwischenzeitlich als standardisiertes Prüfverfahren normiert worden (ISO 16673, 2007; vgl. Gelau et al., 2009), wenngleich das Verfahren im Rahmen der Standardisierung kritisch diskutiert wurde (z. B. Lansdown, Burns & Parkes, 2004). In der hier beschriebenen Untersuchung wird der entgegengesetzte Zugang gewählt. Die Phasen der Okklusion werden gleichbedeutend mit der Abwendung des Blickes weg vom Verkehrsgeschehen verstanden. Diesen Zugang verwendeten auch Weir, Chiang und Brooks (2003), um die Blickabwendung vom Verkehrsgeschehen hin zu einem Fahrerinformationssystem zu simulieren. Auch van der Horst (2004) berichtet experimentelle Untersuchungen im Anwendungsfeld der Kraftfahrzeugführung, bei denen der Blick auf das Verkehrsgeschehen verdeckt wurde, entweder mit Hilfe einer Okklusionsbrille oder mit anderen Hilfsmitteln, etwa einem Vorhang für die Verdeckung des Blickes durch das Seitenfenster des Fahrzeugs. Beiden Vorgehensweisen gemein ist die systematische Variation der Betrachtungszeit und der Okklusionszeit, entweder vorgegeben durch die Experimentalsituation (*system-paced*) oder selbstbestimmt durch den Probanden (*subject paced*) (Krems et al., 2004).

Wird das Okklusionsverfahren im Rahmen des Doppelaufgabenparadigmas eingesetzt, muss berücksichtigt werden, dass die Phase der Okklusion keine vollwertige visuelle Zweit- bzw. Nebenaufgabe darstellt. Ihr fehlt jeglicher Problemlösecharakter. Sie beinhaltet kein aktiv zu verfolgendes Ziel. Krems et al. (2004) merken an, dass die Okklusionsmethode den Wechsel zwischen Blickab- und -zuwendungen in einer realen Fahrsituation nur zum Teil abbilden kann, da lediglich der Signalstrom des Wahrnehmungsprozesses unterbrochen wird, nicht jedoch eine tatsächliche Zuwendung zu einer anderen Aufgabenstellung stattfindet oder gefordert ist. Baumann et al. (2004, S. 204) äußern sich sehr ähnlich:

„The occlusion technique on its own does not simulate all the demands of driving a car in a realistic environment. That is, driving as a primary task impairs interaction with an in-car information system more than the occlusion technique does.“

Die Autoren betonen dennoch, dass die Leistungsbeeinträchtigung durch Okklusion mit der bei einer realen Fahrt tendentiell vergleichbar ist. Die Okklusionsphase simuliert nahezu idealtypisch den sensorischen Vorgang der Blickabwendung von der Primäraufgabe. Der visuelle Signalstrom der Primäraufgabe wird unterbrochen. Hinsichtlich der visuellen Abgelenktheit von der Primäraufgabe stellt die Okklusion sozusagen das Kondensat dieses Vorgangs auf der Signalebene dar, sofern akzeptiert wird, dass Reizkategorisierungsprozesse, die ebenso charakteristisch

für Wahrnehmung sind, gleichfalls nicht stattfinden. Die durch die Okklusion hergestellte visuelle Ablenkung ist idealtypisch sensorisch, ohne jedweden Informationsverarbeitungsanteil. Das Okklusionsverfahren ermöglicht aber gerade deshalb die Applikation einer visuellen Ablenkung ohne kognitive Anteile; eine Anforderung, die in dieser Reinform zwar kaum anzutreffen ist (vgl. Engström et al., 2005), einer experimentellen Untersuchung dennoch Wert ist.

In diesem Versuch wurde ebenfalls eine PLATO-Shutterbrille verwendet. Die Okklusionsdauer wurde in drei Stufen variiert. Die maximale Okklusionsdauer von 1500 ms leitet sich aus der Norm ab (ISO 16673, 2007; Gelau et al., 2009), die besagt, dass das Öffnungs- und Okklusionsintervall der PLATO-Brille üblicherweise 1500 ms beträgt. Davon abgestuft wurde eine Verschlussdauer von Zweidrittel der maximalen Okklusionsdauer, das entspricht 1000 ms, und Eindrittel der maximalen Okklusionsdauer, das entspricht 500 ms, gewählt. Das Öffnungsintervall der Shutter-Brille betrug bei allen drei Varianten 1500 ms.

Zweitaufgabe Zählen (kognitive Ablenkung) – Wie im Kapitel 2.2.4 geschildert wurde, hat bereits Bornemann (1942a) versucht, das Ausmaß *geistiger Beanspruchung* mit Hilfe des Doppelaufgabenzugangs zu quantifizieren. Auch er legte seinen Überlegungen die Annahme begrenzter Ressourcen zugrunde, die sich beide geistig beanspruchenden Aufgaben teilen müssten. Anhand der Bearbeitungsgüte der zusätzlich dargebotenen Aufgabe ließe sich dann eine Aussage zur geistigen Beanspruchung der Person treffen (Bornemann, 1942a; Bornemann, 1942b). Bornemann verwendete als so genannte *Meßtätigkeit*, also als Zweitaufgabe, Additionsaufgaben in einer leichten und in einer schweren Ausprägung. Die leichten Aufgaben entsprachen der Form $6 + 48$ (einstellige Zahl wird mit zweistelliger Zahl addiert), die schweren Aufgaben dem Schema $27 + 49$ (zwei zweistellige Zahlen werden addiert). Dabei wurde sichergestellt, dass niemals zwei gleiche Zahlen addiert werden mussten und nie die Summe von 100 überschritten wurde. Die Terme wurden akustisch dargeboten. Die Antwort der Probanden erfolgte verbal. In einer zweiten Variante wurden vom Versuchsleiter lediglich zwei Startzahlen genannt, die fortlaufend bis zum überschreiten einer Gesamtsumme miteinander addiert werden mussten. Dadurch konnte die Unterbrechung durch Rechenaufgabenzurufe durch den Versuchsleiter vermieden werden.

Auch Brown und Poulton (1961) haben mit Zahlenaufgaben gearbeitet. So sollten ihre Probanden in einer Versuchsausprägung Veränderungen in achtstelligen Zahlen entdecken. In einer weiteren Versuchsvariante mussten zwei dreistellige Zahlen addiert werden. In ihrer Wahl für zahlen- bzw. rechenbasierte Aufgaben beziehen sich die Autoren ebenfalls auf Bornemann (1942a). Brown und Poulton (1961) betonen, dass die Zusatzaufgaben in ihrer Untersuchung die Primäraufgabe der Fahrzeugführung nicht substantiell beeinflusst haben. Verwey (2000) ließ seine Probanden während der Fahrt zu einer jeweils vorgegebenen Zahl zwischen 20 und 87 den Wert 12 addieren, um eine mentale Zusatzlast zu bewirken. Odgen et al. (1979) sowie O'Donnell und Eggemeier (1986) empfehlen ebenfalls, im Rahmen von Beanspruchungsuntersuchungen mentale Mathematik- bzw. Arithmetikaufgaben zu verwenden, obschon die Autoren darauf hinweisen, dass Rechenaufgaben eine sehr große mentale Beanspruchung darstellen.

Im hier geschilderten Versuch sollten die Probanden in der einfachen Versuchsbedingung beginnend von einer der drei zufällig bestimmten dreistelligen Zahlen 672, 736 oder 701 in Zweierschritten vorwärts zählen. In der schweren Bedingung galt es, von einer der ebenfalls zufällig bestimmten dreistelligen Zahlen 674, 726 oder 665 in Siebenerschritten rückwärts zu zählen. Die Ausgangszahlenwerte wurden so festgelegt, dass unabhängig vom individuellen Zähltempo der dreistellige Zahlenbereich nicht verlassen wird. Um Wortlängeneffekte bei der Nennung der Zahlen zu minimieren, sollte beim Vorwärtzzählen die Zahl 1000 nicht erreicht und beim Rückwärtzzählen die Zahl 100 nicht unterschritten werden. Eine sehr ähnliche Zähl Anforderung, die das Vorwärtzzählen in Zweierschritten und Rückwärtzzählen in Siebenerschritten beinhaltet, wurde von Engström und Markkula (2007) benutzt, um visuelle vs. kognitive Ablenkungseffekte zu untersuchen (siehe S. 22).

Zweitaufgabe Logisches Schließen (kognitive Ablenkung) – Mit dem *3 Min Reasoning Test* hat Baddeley (1968) ein Verfahren vorgestellt, das auf einfache Art und Weise und dennoch zuverlässig die Messung kognitiver Beanspruchung ermöglicht. Die Grundidee besteht auch hier

darin, die Testaufgaben zeitgleich mit derjenigen Tätigkeit durchzuführen, über deren kognitive Last eine Aussage getroffen werden soll. Da Baddeleys Testzugang ebenfalls auf der Annahme beruht, dass die Gesamtverarbeitungskapazität begrenzt ist, kann anhand der Leistung bei der Testbearbeitung auf das Ausmaß der Inanspruchnahme kognitiver Leistungsvoraussetzungen durch die zu charakterisierende Tätigkeit geschlossen werden. Das Testverfahren basiert auf einer psycholinguistischen Annahme, wonach die Geschwindigkeit, mit der die Aussage eines Satzes verstanden wird von der syntaktischen Struktur des Satzes abhängt. Positive Aussagen werden schneller als negative, aktive Aussagen schneller als passive und wahre Aussagen schneller als falsche verstanden (Baddeley, 1968).

Baddeley variiert im *3 Min Reasoning Test* gezielt die Satzsyntax. Es entstehen Aussagen von unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad, zu deren Deutung die stufenweise Aktivierung höherer mentaler Prozesse erforderlich ist (Baddeley, 1968). Der Test wurde ursprünglich als Papier-Bleistift-Verfahren konzipiert. In kurzen Aussagesätzen wurde die Stellung zweier Buchstaben A und B zueinander beschrieben. Die syntaktische Komplexität wurde anhand der Verben „follow“ und „precede“ variiert, die aktiv, passiv, bejahend und verneinend die Anordnung der beiden Buchstaben A und B beschrieben. Jedem der Sätze folgte das Buchstabenpaar in einer der beiden möglichen Reihenfolgen. Die Kombination aus vier syntaktischen Beschreibungsvarianten (positiv/negativ, aktiv/passiv, wahr/falsch, „precedes“/„follows“, A oder B zuerst genannt) und jeweils zwei möglichen Buchstabenanordnung (A B, B A) ergab eine Liste von 64 zu prüfenden Aussagen. Die Aussagen wurden zufällig angeordnet. Hinter jedem Satz befand sich ein Ankreuzfeld für die Antwortalternativen „wahr“ und „falsch“. Die Probanden bekamen drei Minuten Zeit, um so viele Aussagen wie möglich auf ihren Wahrheitsgehalt zu prüfen. In die Auswertung floss die Gesamtzahl richtiger Antworten ein, da sich dieses Kriterium als das sensibelste herausstellte (Baddeley, 1968).

Baddeley hat den Test einer eingehenden Prüfung unterzogen. Dass der *3 Min Reasoning Test* tatsächlich höhere mentale Prozesse beansprucht, sieht er durch die hohe Korrelation mit einem Intelligenztestmaß bestätigt, anhand dessen er den Schlussfolgerungstest validiert hat. Baddeley berichtet eine Retestreliabilität nach einem Tag von .80 bei gleichzeitiger Robustheit gegenüber Übungseffekten. Der Testscore variiert über mehrere Durchführungen innerhalb kürzerer Zeit (1 h) hinweg kaum. Darüber hinaus hat sich der Test in verschiedenen Anwendungsszenarien als hinreichend sensitiv erwiesen. In einer umfangreichen Studienreihe zum Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtniskapazität und Schlussfolgerungsfähigkeit, den die Autoren mit sehr hohen Korrelationen zwischen .80 und .90 bestätigt fanden, haben Kyllonen und Christal (1990) unter anderem den *3 Min Reasoning Test* eingesetzt.

In dieser Arbeit wurde in Anlehnung an Brown et al. (1969) sowie Matthews, Sparkes und Bygrave (1996) eine auditorische Variante dieses Schlussfolgerungstests verwendet. Somit war es möglich, den Test auch im Rahmen einer Doppeltätigkeit einzusetzen, in dem parallel zur Testbearbeitung die Primäraufgabe der Verkehrszeichenreaktion bearbeitet werden musste, die eine schriftliche Bearbeitung eines Papierverfahrens ausschloss. Die zu deutenden Aussagesätze sind zunächst ins Deutsche übersetzt und anschließend digital in gesprochener Form aufgezeichnet worden, ohne den Grundcharakter des Tests zu verändern. Die Probanden wurden instruiert, ihre Antwort unmittelbar verbal zu geben, entweder mit „ja“ oder „nein“ bzw. „wahr“ oder „falsch“. Im Unterschied zu Baddeleys Originalfassung kam die syntaktische Variation der aktiven bzw. passiven Stellungsbeschreibung nicht zum Einsatz. In Vorversuchen zeigte sich, dass die dadurch verursachte kognitive Beanspruchung deutlich zu groß für das Testszenario einer Doppelaufgabenbearbeitung war. Die Tabelle 4.2 dokumentiert die verwendeten Aussagen und stellt ihnen die jeweils richtige Antwort gegenüber.

Die auditorische Variante des *3 Min Reasoning Tests* wurde über ein Lautsprecherpaar, das links und rechts neben dem Monitor der Primäraufgabe positioniert war, dargeboten. Die Anordnung der Aussagen wurde zufallsgesteuert vorgenommen. Jeder Satzblock umfasste eine Zeitspanne von ungefähr 5 Sekunden, wovon 2 Sekunden auf die eigentliche Satzdarbietung fielen

Tabelle 4.2

Verwendete Satzaussagen in der Zweitaufgabe Logisches Schließen und die jeweils richtige Antwort (Urteil)

einfach		schwer	
Aussage	Urteil	Aussage	Urteil
A folgt B – A B	falsch	A folgt nicht B – A B	wahr
A folgt B – B A	wahr	A folgt nicht B – B A	falsch
A geht B voran – A B	wahr	A geht B nicht voran – A B	falsch
A geht B voran – B A	falsch	A geht B nicht voran – B A	wahr
B folgt A – A B	wahr	B folgt nicht A – A B	falsch
B folgt A – B A	falsch	B folgt nicht A – B A	wahr
B geht A voran – A B	falsch	B geht A nicht voran – A B	wahr
B geht A voran – B A	wahr	B geht A nicht voran – B A	falsch

und eine Pause von ca. 3 Sekunden bis zum Beginn des nächsten Satzes für die Antwort durch die Versuchsperson vorgehalten wurde.

Tabellarische Übersicht der Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen

Die Tabelle 4.3 enthält Kurzbezeichnungen für die einzelnen Versuchsbedingungen, auf die aus Gründen der Sparsamkeit im Weiteren zurückgegriffen wird. Jede Kurzbezeichnung setzt sich aus einem vorangestellten Indikator für die Primär- bzw. Zweitaufgabe und einem durch Bindestrich getrennten Buchstaben für die Primär- bzw. Sekundäraufgabenausprägung zusammen. Die Kurzbezeichnungen wurden so gewählt, dass sie nach Möglichkeit selbstsprechend sind. Die unterstrichen Anfangsbuchstaben sollen dies verdeutlichen.

Tabelle 4.3

Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen

Kurzbezeichnung	Beschreibung
<u>P</u> rimäraufgabe	
P-E1	<u>E</u> infachreaktion mit schwachem Verkehrszeichenkontrast
P-E2	<u>E</u> infachreaktion mit normalem Verkehrszeichenkontrast
P-W	<u>W</u> ahlreaktion mit normalem Verkehrszeichenkontrast
<u>Z</u> weitaufgaben	
<u>O</u> kkusion	
Z-O1	Okklusion 500 ms
Z-O2	Okklusion 1000 ms
Z-O3	Okklusion 1500 ms
<u>Z</u> ählen	
Z-Z1	Vorwärtszählen in Zweierschritten
Z-Z2	Rückwärtszählen in Siebenersritten
<u>L</u> ogisches Schließen	
Z-L1	Logisches Schließen einfach
Z-L2	Logisches Schließen schwer

Hypothesen

Wird angenommen, dass die Primäraufgabe überwiegend visuell-motorische Anforderungen an den Probanden stellt, das heißt vornehmlich Informationsverarbeitungsressourcen auf der Stu-

fe der Wahrnehmung und der Handlungsantwort (*Response Selection*, *Response Execution*) in Anspruch nimmt, sollten die Reaktionszeiten in der Primäraufgabe bei zusätzlicher kognitiver Last kleiner sein als bei visueller Beeinträchtigung durch eine entsprechende Zusatzanforderung – eine verminderte Reaktionsleistung unter kognitiver Ablenkung wird analog zu den Befunden von Bellinger et al. (2009) gleichwohl erwartet. Gleichzeitig sollte die Zahl der fehlerhaften und verpassten Reaktionen unter kognitiver Zusatzbeanspruchung ebenfalls geringer ausfallen als bei Unterbrechung des visuellen Reizstroms in der Okklusionsbedingung.

Allgemeine Untersuchungshypothese – Wirkung der Zweitaufgabe auf die Primäraufgabe

- H 1: In denjenigen Doppelaufgabenbedingungen, in denen die Zweitaufgaben unterstellt wird, hauptsächlich visuell ablenkend zu wirken, sind die Reaktionszeiten, Fehlerraten und die Zahl verpasster Reaktionen bei der Primäraufgabenbearbeitung größer als bei denjenigen Zweitaufgaben, die gemäß der Wahl des Versuchsmaterials als hauptsächlich kognitiv beanspruchend gelten.
- H 1.1: *Reaktionszeiten* – Die Reaktionszeiten auf Verkehrszeichenwechsel sind in der Zweitaufgabenbedingung Okklusion (Z-O1, Z-O2, Z-O3) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Zählen (Z-Z1, Z-Z2) und Logisches Schließen (Z-L1, Z-L2). Dabei sind die Reaktionszeiten umso größer, je länger die Okklusion andauert.
- H 1.2: *Fehlerrate* – Die Zahl von Reaktionsfehlern ist in der Zweitaufgabenbedingung Okklusion (Z-O1, Z-O2, Z-O3) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Zählen (Z-Z1, Z-Z2) und Logisches Schließen (Z-L1, Z-L2). Dabei ist die Fehlerhäufigkeit umso größer, je länger die Okklusion andauert.
- H 1.3: *Zahl verpasster Reaktionen* – Die Zahl von verpassten Reaktionen ist in der Zweitaufgabenbedingung Okklusion (Z-O1, Z-O2, Z-O3) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Zählen (Z-Z1, Z-Z2) und Logisches Schließen (Z-L1, Z-L2). Dabei ist deren Anzahl umso größer, je länger die Okklusion andauert.

Spezielle Untersuchungshypothese – Wirkung der Variation der Primäraufgabe

- H 2: Die Leistung in der Primäraufgabe sinkt mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Primäraufgabe.
- H 2.1: *Visuelle Variation der Primäraufgabe* – Die Beeinträchtigung der Erkennbarkeit der Primäraufgabe durch Verschlechterung des Anzeigekontrasts des Hinweisreizes (P-E1) führt zu einer Vergrößerung der Reaktionszeiten und zu einer Zunahme von falschen sowie von verpassten Reaktionen.
- H 2.2: *Interaktionsprognose visuelle Variation* – Die Zunahme von Reaktionszeiten und von falschen sowie von verpassten Reaktionen ist in der Zweitaufgabenbedingung Okklusion (Z-O1, Z-O2, Z-O3) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Zählen (Z-Z1, Z-Z2) und Logisches Schließen (Z-L1, Z-L2).
- H 2.3: *Kognitive Variation der Primäraufgabe* – Die Beeinträchtigung der Vorhersagbarkeit der Primäraufgabe (P-W) führt zu einer Vergrößerung der Reaktionszeiten und zu einer Zunahme von falschen und von verpassten Reaktionen.
- H 2.4: *Interaktionsprognose kognitive Variation* – Die Zunahme von Reaktionszeiten und von falschen sowie von verpassten Reaktionen ist in der Zweitaufgabenbedingung Okklusion (Z-O1, Z-O2, Z-O3) kleiner als in den Zweitaufgabenbedingungen Zählen (Z-Z1, Z-Z2) und Logisches Schließen (Z-L1, Z-L2).

Zur Leistungsdynamik der Zweitaufgaben werden keine Vorannahmen getroffen. Allerdings ist zu erwarten, dass die Zweitaufgabenleistungen eine Funktion der Zweitaufgabenschwierigkeit darstellen. Mit Hilfe der Instruktion der Versuchspersonen wird der Bearbeitungsschwerpunkt auf die Primäraufgabe gelegt. Somit kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Bearbeitungsleistung der Zweitaufgaben über die Variation der Zweitaufgabenschwierigkeitsgrade hinweg stabil bleibt. Odgen et al. (1979) merken an, dass neben der systematischen Variation der Zweitaufgabenschwierigkeit auch die Zweitaufgabenleistung genau erfasst werden sollte, da sie dabei helfen kann, aufzuklären, ob eine Leistungsbeeinträchtigung in der Primäraufgabe tatsächlich auf die Variation der Sekundäraufgabe zurückzuführen ist oder ob die Versuchsperson lediglich generell überlastet ist.

Wollte man das Doppelaufgabendekrement der hier verwendeten Experimentalaufgaben im Rahmen des *Computational Model* von Horrey und Wickens (2003) bzw. Wickens (2002) (vgl. Tabelle 2.6, S. 26) vorhersagen, ergäbe sich die in der Tabelle 4.5 dargestellte Prognose des Ausmaßes und der Rangfolge der jeweils wechselseitigen Störungen zwischen Primär- und Sekundäraufgaben. Diese Schätzung basiert auf den in der Tabelle 4.4 dargestellten a priori postulierten Aufgabenschwierigkeiten auf den Dimensionen des Ressourcenwürfels. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Beanspruchungswerte ebenso auf einer rein subjektiven Einschätzung basieren, wie das weiter oben angeführte und kritisch betrachtete Beispiel von Horrey und Wickens (2003). Für die Beanspruchungswerte wurde eine Werteskala von 0 Punkten (keine Beanspruchung bzw. Inanspruchnahme von Ressourcen) bis 3 Punkten (maximale Beanspruchung bzw. Inanspruchnahme von Ressourcen) gewählt, um alle vorkommenden Abstufungen der Aufgabenschwierigkeiten adäquat abbilden zu können. So ist der Faktor visuelle Ablenkung durch Okklusion dreigestuft (500 ms, 1000 ms, 1500 ms). Die Vergabe der Schwierigkeitswerte 0 bis 3 orientiert sich nicht an einer absoluten Skala, sondern spiegelt die Relation der Anforderungen dieses Versuchs wider. Ein Wert von 3 bedeutet demnach nicht, dass die Aufgabe bzgl. dieser Ressource über viele denkbare Aufgaben hinweg absolut am schwersten ist, sondern dass sie im Portfolio der in diesem Versuch verwendeten Teilaufgaben die mutmaßlich größte Inanspruchnahme der konkreten Ressource verkörpert.

Tabelle 4.4

Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 1 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 3 (maximale Beanspruchung) (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)

Aufgabe	Ressource (Schwierigkeitswert)							
	Vf	Va	As	Av	Cs	Cv	Rs	Rv
Primäraufgabe								
P-E1	3	0	0	0	0	0	1	0
P-E2	2	0	0	0	0	0	1	0
P-W	1	0	0	0	1	0	1	0
Zweitaufgaben								
Okklusion								
Z-O1	1	1	0	0	0	0	0	0
Z-O2	2	2	0	0	0	0	0	0
Z-O3	3	3	0	0	0	0	0	0
Zählen								
Z-Z1	0	0	0	1	1	0	0	1
Z-Z2	0	0	0	1	3	0	0	1
Logisches Schließen								
Z-L1	0	0	0	2	0	2	0	1
Z-L2	0	0	0	2	0	3	0	1

Der Primäraufgabe wird im Wesentlichen die Inanspruchnahme visueller und handlungsantwortbezogener Ressourcen zugeschrieben. Da die Handlungsantwort lediglich in einem einfachen Tastendruck besteht, wurde hierfür der Wert 1 vergeben. Die Inanspruchnahme visueller Ressourcen wird ebenfalls als gegeben angesehen. Ihr Ausmaß variiert mit der Primäraufgabenvariante. Bei der Primäraufgabenausprägung mit eingeschränktem Verkehrszeichenkontrast (P-E1) muss beispielsweise sehr genau fokussiert werden, um den angezeigten Verkehrszeichenwert entziffern zu können. Der Wert 3 ist Ausdruck dieser gesteigerten Ressourceninanspruchnahme. Der relativ hohe Beanspruchungswert von 2 in der Primäraufgabenbedingung mit hohem Verkehrszeichenkontrast und eindeutig determinierter Antwortreaktion (P-E2) trägt der geometrischen Ähnlichkeit der verwendeten Geschwindigkeitswerte 30 und 80 Rechnung. Die Ziffern 3 und 8 sind optisch leicht verwechselbar und erfordern deshalb mehr als einen nur flüchtigen Blick. Kognitive Ressourcen werden allein von der Primäraufgabenbedingung mit zusätzlich applizierter Antwortunsicherheit (P-W) in Anspruch genommen. Die bei der Versuchsgestaltung beabsichtigte zusätzliche kognitive Anforderung dieser Primäraufgabenvariante zeigt sich im Wert 1 für die Ressource *Cognitive spatial* (Cs). Zunächst semantisch repräsentierte Größenunterschiede von Geschwindigkeitswerten müssen mental in eine räumliche Repräsentation für die passende Wahl der Antwortreaktion (\uparrow oder \downarrow) gewandelt werden.

Tabelle 4.5

Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (kleinster Rang, ** größter Rang) der Doppelaufgaben im Rahmen des Computational Model auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference)*

Doppelaufgabe	DC	CC	TI	Rang
Okklusion				
P-E1 & Z-O1	0.750	1.400	2.150	11
P-E1 & Z-O2	1.000	1.400	2.400	14
P-E1 & Z-O3	1.250	1.400	2.650	16
P-E2 & Z-O1	0.625	1.400	2.025	9
P-E2 & Z-O2	0.875	1.400	2.275	13
P-E2 & Z-O3	1.125	1.400	2.525	15
P-W & Z-O1	0.625	2.600	3.225	19
P-W & Z-O2	0.875	2.600	3.475	20
P-W & Z-O3**	1.125	2.600	3.725	21
Zählen				
P-E1 & Z-Z1	0.875	0.800	1.675	3
P-E1 & Z-Z2	1.125	0.800	1.925	8
P-E2 & Z-Z1*	0.750	0.800	1.550	1
P-E2 & Z-Z2	1.000	0.800	1.800	6
P-W & Z-Z1	0.750	2.100	2.850	17
P-W & Z-Z2	1.000	2.100	3.100	18
Logisches Schließen				
P-E1 & Z-L1	1.125	0.600	1.725	4.5
P-E1 & Z-L2	1.250	0.600	1.850	7
P-E2 & Z-L1	1.000	0.600	1.600	2
P-E2 & Z-L2	1.125	0.600	1.725	4.5
P-W & Z-L1	1.000	1.100	2.100	10
P-W & Z-L2	1.125	1.100	2.225	12

Analog dieser Denkweise lassen sich die Beanspruchswerte der Zweitaufgaben herleiten und begründen. Beispielsweise findet das auditorisch dargebotene Material der Zweitaufgaben Zählen und Logisches Schließen seinen Niederschlag in entsprechenden Werten der Ressource *Auditory verbal* (Av). Die Erfordernis einer Verbalantwort bei beiden kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben wird durch den Wert 1 bei der Ressource *Response verbal* (Rv) berücksichtigt. Die ko-

gnitiven Anforderung finden sich in den Belegungen der Ressourcen *Cognitive spatial* (Cs) und *Cognitive verbal* (Cv) wieder. Bei der Zweitaufgabenvariante Okklusion werden die visuellen Ressourcen *Visual focal* (Vf) und *Visual ambient* (Va) zwar nicht aktiv durch die Versuchsperson beansprucht, beide Ressourcen stehen infolge der Okklusion dennoch nicht für die Nutzung zur Verfügung, und zwar umso eingeschränkter je länger das Okklusionsintervall andauert. Den visuellen Ressourcen der Okklusionsbedingungen wurden deshalb mit ansteigender Okklusionszeit die Schwierigkeitswerte 1, 2 und 3 zugewiesen. Die kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben beanspruchen übereinstimmend auditive Ressourcen, namentlich die Ressource *Auditory verbal* (Av), da das Reizmaterial bei beiden Typen verbalakustisch dargeboten wird. Zählen erfordert darüber hinaus den Rückgriff auf die Ressource *Cognitive spatial* (Cs). Kopfrechnen gilt in diesem Fall aufgrund der internen Repräsentation von Mengen und Größenbeziehungen als eher mental-räumliche denn mental-verbale Anforderung. Logisches Schließen hingegen zeichnet sich, so die begründete Vermutung, durch die Inanspruchnahme der Ressource *Cognitive verbal* (Cv) aus.

Es bleibt darauf hinzuweisen, dass die Stufen der visuell ablenkenden Zweitaufgabe Okklusion (Z-O1, Z-O2, Z-O3) sowie die jeweiligen Stufen der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben Zählen (Z-Z1, Z-Z2) und Logisches Schließen (Z-L1, Z-L2) aufgabenintern im vorliegenden Fall als qualitativ gleichwertig gelten. Die Zweitaufgabentypen beanspruchen – so das Postulat – auf ihren Schwierigkeitsstufen identische Ressourcen. Daraus ergeben sich typintern gleiche Beanspruchungsmuster. Die Aufgabenstufen unterscheiden sich lediglich quantitativ im jeweiligen Ausmaß ihrer Ressourcenbeanspruchung, das heißt der Ausprägung des zugewiesenen Schwierigkeitswertes.

Unabhängige Variablen

Die erste unabhängige Variable des Versuchs war der Primäraufgabentyp mit seinen Stufen P-E1, P-E2 sowie P-W. Die zweite unabhängige Variable war der Zweitaufgabentyp mit seinen Hauptgruppen visuelle Ablenkung und kognitive Ablenkung. Die visuelle Ablenkung wurde dreigestuft in Form der Okklusionszeiten 1500 ms (Z-O1), 3000 ms (Z-O2) und 4500 ms (Z-O3). Kognitive Ablenkung ist in zwei Arten zu je zwei Schwierigkeitsstufen appliziert worden. So musste vorwärts (Z-Z1) und rückwärts (Z-Z2) gezählt sowie die Korrektheit aktiv (Z-L1) und passiv (Z-L2) formulierter Aussagesätze beurteilt werden.

Abhängige Variablen

Als abhängige Variablen wurden die Reaktionszeit sowie die Anzahl der falschen und der verpassten Reaktionen in der Primäraufgabe erfasst, da laut O'Donnell und Eggemeier (1986) verschiedene Maße der Erstaufgabe sensitiv auf unterschiedliche Arten und Ausprägungen von Zusatzbeanspruchung reagieren können. Zusätzlich wurden die Antwortzeiten und die Antwortfehler in den kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben Zählen und Logisches Schließen erhoben.

Versuchsdesign

Der Versuch wurde als vollständiges Within-subject Design mit Messwiederholung durchgeführt. Alle Versuchspersonen bearbeiteten alle Aufgabenvarianten. Mit Messwiederholungsdesigns wird gewährleistet, dass vorhandene Effekte auch dann sichtbar werden, wenn sich die Versuchspersonen in ihren absoluten Leistungsausprägungen stark voneinander unterscheiden. Ausschlaggebend beim Messwiederholungsdesign sind die relativen, intraindividuellen Leistungsunterschiede zwischen den Versuchsbedingungen. Somit ergab sich ein $3 * (3 + 2 + 2)$ Design mit 21 Einzeldurchführungen. Zusätzlich wurde für alle drei Primäraufgabenvarianten die Grundleistung bei der Einzelausführung (Baseline) bestimmt. Ebenso ist die Einzelaufgabenleistung für die Zweitaufgabe Logisches Schließen in der Ausprägung schwer (Z-L2) erhoben worden.

Versuchsablauf

Der Versuch fand in einem Laborraum an einem PC-Arbeitsplatz statt. Die Primäraufgabe wurde den Probanden auf einem frontal angeordneten 19 Zoll TFT-Bildschirm dargeboten. Die Interaktion mit der Primäraufgabe erfolgte über eine herkömmliche Computertastatur.

Die Versuchspersonen wurden begrüßt und mit der Versuchsumgebung vertraut gemacht. Sie bekamen einen kurzen Überblick über die Inhalte und Anforderungen des bevorstehenden Versuchs und erhielten die Gelegenheit, die Bearbeitung der Primäraufgabe zu üben. Vor der jeweils ersten Durchführung der Zweitaufgabentypen konnten die Versuchspersonen auf Wunsch diese Zweitaufgabe ausprobieren, um auch hierin eine gewisse Vertrautheit zu erlangen. In der Versuchsbedingung Okklusion wurde zeitgleich mit der Primäraufgabe der Okklusionszyklus gestartet. Er wurde automatisch über die Systemsoftware der Okklusionsbrille gesteuert.

In der Zählbedingung wurde den Probanden vor Beginn des Durchgangs die Startzahl genannt, von der aus vorwärts in Zweierschritten oder rückwärts in Siebenerschritten gezählt werden sollte. Das Zähltempo bestimmten die Probanden selbst. Der Zählfortschritt und die Zählfehler wurden vom Versuchsleiter protokolliert. Zählfehler wurden durch den Versuchsleiter nicht korrigiert. Nur wenn ein Proband deutlich ins Stocken geriet, gab der Versuchsleiter durch Nennung der aktuell richtigen Zahl einen Anhaltspunkt.

In der Versuchsbedingung Logisches Schließen wurde die Darbietung der aufgezeichneten Satzblöcke zeitgleich mit der Primäraufgabe gestartet. Die Anordnung der Satzblöcke erfolgte zufallsgesteuert so lange, bis der Versuchsleiter mit dem Ende der Primäraufgabe die Wiedergabe der Tonspuren stoppte. Über einen zweiminütigen Durchgang hinweg wurden so ca. 21 Satzblöcke dargeboten. Jede einzelne der 16 Satzvarianten konnte sich somit innerhalb eines Durchgangs mehrfach wiederholen. Parallel zur Aufgabenbearbeitung durch den Probanden registrierte der Versuchsleiter mit Hilfe einer speziellen Kodiersoftware sowohl die Dauer bis zur Beantwortung der jeweiligen Logikaufgabe als auch die Antwortgüte. Dazu betätigte er unmittelbar nach dem Ende des eingespielten Satzes die Starttaste der Softwarestoppuhr und nach erfolgter Antwort durch den Versuchsteilnehmer die Stoptaste. Erfolgte bis zum Start des nächsten Satzes keine Antwort, hielt der Versuchsleiter die Stoppuhr dennoch an, um sie so in den Bereit-Zustand für den nächsten Satz zu versetzen. Die Antwortgüte wurde den Probanden während des Trials nicht zurückgemeldet.

Für die Primäraufgabe wurde zufällig angeordnet innerhalb des Gesamtversuchs die Grundleistung (Baseline) bestimmt. Zusätzlich ist die Baseline für die Bearbeitung der Logikaufgabe für die Bedingung schwer (Z-L2) ermittelt worden, und zwar anhand von 16 aufeinander folgenden Satzblöcken. Diese Leistungswerte der Einzelaufgabenbearbeitung wurden lediglich erhoben, um bei der Datenauswertung einen Anhaltspunkt zur Größenordnung der Absolutausprägungen der Doppelaufgabendekremente zu erhalten. Für alle übrigen Zweitaufgabenvariationen sind keine Grundleistungen bestimmt worden, da für die Beurteilung der Untersuchungshypothesen in erster Linie die Leistungsdynamik in der Doppelaufgabensituation von Interesse war. Hierzu genügt es, die relativen Leistungsunterschiede zwischen den Doppelaufgabenvariationen zu betrachten. Ob und inwiefern sich darüber hinaus Leistungsdeltas zu einer Einzelbearbeitung der Zweitaufgabe zeigen, trägt nicht wesentlich zur Beantwortung der Fragestellung bei.

Die Probanden wurden instruiert, dass das Hauptaugenmerk auf der Bearbeitung der Primäraufgabe liegen sollte, wobei die Zweitaufgaben natürlich nicht vernachlässigt werden durften. Die Primäraufgabe wurde durch zuvor einmalig generierte Konfigurationsdateien, sogenannte INI-Dateien, gesteuert. Insgesamt wurden für jeden Primäraufgabentyp drei Konfigurationsdateien angelegt. Diese Konfigurationsdateien sind den Probanden und Versuchsbedingungen zufällig zugeordnet worden. Bei der Erstellung der Konfigurationsdateien, die ebenfalls zufallsgesteuert erfolgte, bestand die limitierende Größe in der Trialdauer. Sie sollte zwei Minuten nicht überschreiten. Bei den genannten zur Verfügung stehenden Anzeigedauern von 1500 ms, 3000 ms und 4500 ms ergaben sich somit zwangsläufig Konfigurationsdateien mit unterschiedlich vielen Einzelreaktionen. Die Tabelle 4.6 zeigt die Anzahl von Verkehrszeichenwechseln je verwendeter

Konfigurationsdatei. Die Unterschiede in der Zahl geforderter Reaktionen zwischen den Primäraufgabentypen wurden als nicht bedeutsam eingestuft. Die unten referierten Ergebnisse und Analysen wurden deshalb nicht anhand der Anzahl von Reaktionen relativiert bzw. normiert. Stabile Effekte sollten – darin bestand die Forderung – durchdringen, unabhängig davon, ob zum Beispiel auf 40 oder auf 45 Verkehrszeichen reagiert werden musste.

Tabelle 4.6

Anzahl von Einzelreaktionen bei den verwendeten Primäraufgabenkonfigurationen in Versuch 1

Primäraufgabe	INI-Datei			<i>M</i>
	Datei 1	Datei 2	Datei 3	
P-E1	41	43	40	41.33
P-E2	41	41	42	41.33
P-W	40	40	45	41.66

Der gesamte Versuch nahm im Mittel zwei Stunden (1.5 bis 2.5 Stunden) in Anspruch. Jeder Proband bearbeitete in zufälliger Folge alle Kombinationen von Primär- und Sekundaraufgabentypen (vgl. Abschnitt 4.2.2, S. 49).

4.2.3 Ergebnisse

Anmerkungen zur Inferenzstatistik

Sofern mit Hilfe der *F*-Statistik Hypothesen varianzanalytisch geprüft wurden, ist zuvor anhand des Mauchly-Tests die Sphärizität der Daten getestet worden, die insbesondere bei abhängigen Messdaten zu fordern ist. Konnte nicht von Sphärizität ausgegangen werden, wurden die Freiheitsgrade des *F*-Tests nach Huynh-Feldt korrigiert (vgl. Tabachnick & Fidell, 2001, Toutenburg, 2002). Zusätzlich ist bei signifikanten *F*-Tests die Effekstärke η^2 berechnet worden, die eine grobe Abschätzung der Größe der durch die unabhängige Variable in der abhängigen Variable verursachten Varianz ermöglicht. Da die Varianzanalyse keine gezielte Testung von Alternativhypothesen erlaubt, erfolgte die detaillierte Analyse etwaiger Unterschiede zwischen den Faktorstufen in paarweisen Mehrfachvergleichen. Die erforderliche Anpassung der Konfidenzintervalle erfolgte nach Bonferroni (vgl. Howell, 2002). Alle statistischen Hypothesen wurden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ getestet. Dieses Vorgehen wurde für alle weiteren Versuche beibehalten (Versuche 2 bis 4).

Primäraufgabe

Für jeden Verkehrszeichenwechsel ist die Reaktionszeit in einem Logfile aufgezeichnet worden. Darin wurde auch protokolliert, ob es sich bei der Reaktion um eine richtige oder falsche Antwort handelte oder ob die Reaktion ganz ausblieb (Verpasser). Als Reaktion im Sinne der Aufgabenstellung galt nur der jeweils erste Tastendruck. Wurden die Pfeiltasten der PC-Tastatur bei unveränderter Verkehrszeichenanzeige mehrfach gedrückt, wurden diese Tastenanschläge als redundant markiert und nicht berücksichtigt. Die Reaktionszeiten der richtigen Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel eines Trials wurden arithmetisch gemittelt. Die Anzahl falscher und verpasster Reaktionen ist jeweils pro Trial aufsummiert worden. Die Messdaten der Primäraufgabenbedingung Baseline sind bei der inferenzstatistischen Prüfung nicht berücksichtigt worden, da sie nicht zur untersuchten Klasse der Doppelaufgabentätigkeiten gehören. Sie dienen lediglich der Illustration des allgemeinen Zweitaufgabendekrements (vgl. Abschnitt 4.2.2, S. 50).

Reaktionszeiten – Die Abbildung 4.3 zeigt die über alle Versuchspersonen gemittelten Reaktionszeiten richtiger Reaktionen der Doppelaufgabenanforderungen, separiert nach Primär- und

Zweitaufgaben. Zwei Dinge stechen bei der Abbildung 4.3 ins Auge. Zum Ersten zeigen sich deutliche Reaktionszeitunterschiede zwischen den Zweitaufgabenvarianten, die an der Ordinate abgetragen sind. Die varianzanalytische Prüfung des Zweitaufgabeneinflusses auf das Zustandekommen der Reaktionszeiten, genauer der Reaktionszeitunterschiede, bestätigt den optischen Eindruck. Die Variation der Zweitaufgabe beeinflusste die Reaktionszeit der Probanden in der Primäraufgabe hochsignifikant, $F(3.568, 89.195) = 48.221, p < .001, \eta^2 = .659$. Zum Zweiten liegt das Reaktionszeitniveau der Versuchsbedingungen Zählen und Logisches Schließen, denen kognitive Zusatzbelastung unterstellt wurde, klar auf bzw. insbesondere ihre schweren Varianten (Z-Z2, Z-L2) über dem Reaktionszeitbedarf der visuell ablenkenden Okklusionsbedingungen. Im Abschnitt A.1.1 des Anhangs sind in der Tabelle A.1 die korrigierten Werte der paarweisen Mittelwertvergleiche abgetragen, aus denen ersichtlich wird, welche Zweitaufgabenbedingungen sich hinsichtlich der Reaktionszeit signifikant voneinander unterscheiden.

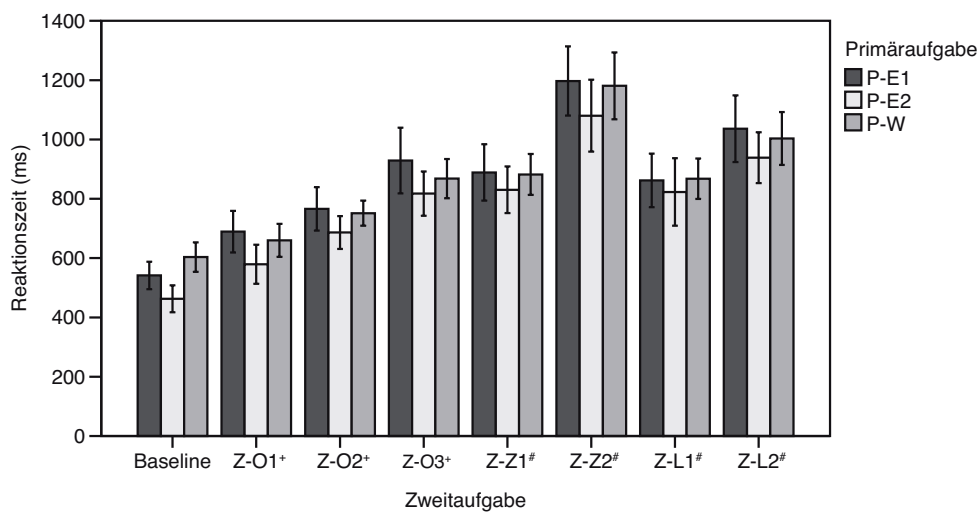


Abbildung 4.3. Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

Zwischen den Primäraufgabenvarianten, repräsentiert durch die getrennten Balkentypen je Zweitaufgabe (siehe Abbildung 4.3), ist ebenfalls ein Unterschied erkennbar. Über die Versuchsbedingungen hinweg bewirkt auch die Variation des Primäraufgabentyps Reaktionszeitunterschiede, und zwar ähnlich deutlich wie die Zweitaufgabenvariation, $F(2, 50) = 16.356, p < .001, \eta^2 = .395$ (paarweise Vergleiche der Mittelwerte siehe Anhang A.1.1, Tabelle A.2). Da die relative Anordnung der Primäraufgabenschwierigkeiten zueinander – das Stufenbild der Balken je Zweitaufgabe – bei allen Zweitaufgaben gleich ist, kann nicht von einer systematischen Wechselwirkung zwischen Primär- und Sekundäraufgaben ausgegangen werden. Auch der F -Test erlaubt nicht, einen von der Primäraufgabe abhängigen jeweils spezifischen Einfluss der Zweitaufgabe zu postulieren, $F(5.624, 140.597) = .490, p = .804$.

Um die Ergebnisdifferenzen zwischen den Versuchsbedingungen mit visueller und denen mit kognitiver Zusatzlast herausarbeiten zu können, sind in einem weiteren Auswertungsschritt die Messwerte der jeweiligen Zweitaufgabentypen mit visueller Last (Okklusion) und kognitiver Last (Zählen sowie Logisches Schließen) über ihre jeweiligen Schwierigkeitsstufen hinweg aggregiert worden. Das bedeutet, durch Mittelwertbildung sind die Reaktionszeiten aller drei Okklusionsvarianten zu einem Wert für visuelle Zusatzlast und die Reaktionszeiten der zwei jeweils zweigestuften Kognitionsbedingungen zu einem Wert für kognitive Ablenkung durch Zählen und einen Wert für kognitive Ablenkung durch Logisches Schließen zusammengefasst worden. Die Abbildung 4.4 stellt die so generierten mittleren Reaktionszeiten der Zweitaufgabentypen, getrennt nach Primäraufgabe grafisch dar.

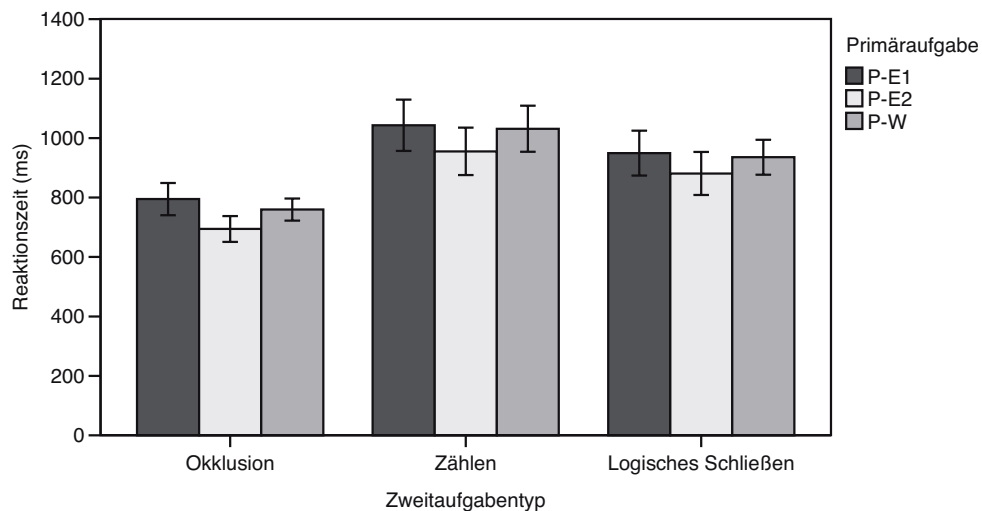


Abbildung 4.4. Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabentyp.

Der bereits oben erkannte stabile Einfluss der Primäraufgabenvariation auf die Reaktionszeit bleibt auch bei dieser Art der Datenaufbereitung sichtbar und statistisch signifikant, $F(2, 50) = 13.586$, $p < .001$, $\eta^2 = .352$. Bei allen drei Zweitaufgabentypen war den Versuchspersonen bei kontrastreichen Verkehrszeichen, deren Wechsel deterministisch erfolgten (P-E2) im Mittel die jeweils schnellste Reaktion möglich (Okklusion Z-O1, Z-O2, Z-O3: $M = 694.23$ ms; Zählen Z-Z1, Z-Z2: $M = 955.19$ ms; Logisches Schließen Z-L1, Z-L2: $M = 880.67$ ms). Unabhängig von der Art der Zweitaufgabe wurde in den Primäraufgabenbedingungen mit eingeführter Reaktionsunsicherheit (P-W) am zweitschnellsten richtig reagiert (Okklusion Z-O1, Z-O2, Z-O3: $M = 759.67$ ms, Zählen Z-Z1, Z-Z2: $M = 1031.37$ ms, Logisches Schließen Z-L1, Z-L2: $M = 935.45$ ms). Mit knappen Abstand dahinter zeigte die Primäraufgabenvariante mit eingeschränktem Verkehrszeichenkontrast (P-E1) über die Zweitaufgabentypen den größten Reaktionszeitbedarf (Okklusion Z-O1, Z-O2, Z-O3: $M = 794.69$ ms, Zählen Z-Z1, Z-Z2: $M = 1042.96$ ms, Logisches Schließen Z-L1, Z-L2: $M = 949.15$ ms). Die paarweisen Vergleiche der Mittelwerte zeigen, dass sich die Primäraufgabenausprägungen P-E1 und P-E2 sowie P-E2 und P-W signifikant voneinander unterscheiden (siehe Anhang A.1.1, Tabelle A.4). Zwischen P-E1 und P-W besteht hinsichtlich der Reaktionszeiten kein statistisch bedeutsamer Unterschied.

Ein wenig klarer als in Abbildung 4.3 lässt sich die Rangfolge der Versuchsbedingungen hinsichtlich der Reaktionszeit in der Primäraufgabe in Tabelle 4.7 ablesen. Die im Mittel kleinsten Reaktionszeiten kamen trotz wiederkehrender Störung des visuellen Kanals in den Okklusionsbedingungen zustande (Mittelwert über alle Okklusionsbedingungen [Z-O...] $M = 749.53$ ms). Die beiden Schwierigkeitsstufen der Zweitaufgabenbedingung Logisches Schließen führten in allen Primäraufgabenvarianten zu größeren mittleren Reaktionszeiten (Mittelwert über alle Schlussfolgerungsbedingungen [Z-L...] $M = 921.75$ ms). Am längsten benötigten die Versuchspersonen während des Zählens für eine Verkehrszeichenreaktion (Mittelwert über alle Zählbedingungen [Z-Z...] $M = 1009.84$ ms). Diese sichtbare Zweitaufgabentypabhängigkeit der Primäraufgabenreaktionszeiten wird vom F -Test untermauert, $F(2, 50) = 33.223$, $p < .001$, $\eta^2 = .571$. Die aggregierten Reaktionszeiten der Okklusionsbedingungen (Z-O...) unterscheiden sich signifikant von denen der Zählbedingungen (Z-Z...) und denen des Logischen Schließens (Z-L...). Zwischen den kognitiv ablenkenden Zweitaufgabentypen (Z-Z... und Z-L...) ergaben sich keine überzufälligen Reaktionszeitunterschiede (siehe Anhang A.1.1, Tabelle A.3). Es bleibt anzumerken, dass das Ergebnis der Varianzanalyse auch auf der Aggregationsebene der Zweitaufga-

Tabelle 4.7

Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der mittleren Reaktionszeiten richtiger Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel in Millisekunden ($N = 26$)

Versuchsbedingung	min.	max.	M	SD	Rang
Okklusion					
P-E1 & Z-O1	500.03	1264.67	689.08	178.30	4
P-E1 & Z-O2	542.78	1368.92	766.03	187.05	6
P-E1 & Z-O3	648.33	2098.00	928.97	281.95	15
P-E2 & Z-O1*	382.93	1242.57	578.93	167.99	1
P-E2 & Z-O2	513.80	1165.13	686.35	141.28	3
P-E2 & Z-O3	593.57	1440.39	817.40	190.57	7
P-W & Z-O1	464.36	1108.33	659.62	141.82	2
P-W & Z-O2	606.33	1092.94	751.43	108.14	5
P-W & Z-O3	638.25	1490.28	867.97	169.11	12
Zählen					
P-E1 & Z-Z1	629.92	1696.37	888.87	243.02	14
P-E1 & Z-Z2**	739.15	1942.50	1197.04	297.69	21
P-E2 & Z-Z1	583.61	1347.27	830.28	200.85	9
P-E2 & Z-Z2	642.13	1962.17	1080.09	308.90	19
P-W & Z-Z1	652.41	1339.24	881.98	176.30	13
P-W & Z-Z2	667.92	2083.81	1180.76	286.86	20
Logisches Schließen					
P-E1 & Z-L1	554.38	1509.20	862.13	230.20	10
P-E1 & Z-L2	597.31	1931.69	1036.16	286.76	18
P-E2 & Z-L1	466.53	1796.62	822.83	290.02	8
P-E2 & Z-L2	530.83	1396.73	938.51	218.82	16
P-W & Z-L1	584.52	1363.70	867.59	174.03	11
P-W & Z-L2	613.88	1569.72	1003.30	227.73	17

bengruppen (Okklusion vs. Zählen vs. Logisches Schließen) gegen einen etwaigen Interaktionseffekt zwischen Primär- und Sekundäraufgaben spricht, $F(2.724, 68.110) = .252, p = .841$.

Falsche Reaktionen – Als weiteres Maß für die Abgelenktheit durch die Bearbeitung von Zusatzaufgaben wurde die Anzahl von Fehlern bei der Reaktion auf die Verkehrszeichenwechsel in der Primäraufgabe herangezogen. Die Abbildung 4.5 zeigt das Fehleraufkommen der verschiedenen Versuchsbedingungen. Auch hier wurde zur besseren Einordnung der Absolutwerte die Einzelaufgabenbedingung Baseline abgetragen. Es zeigt sich, dass bei der Einzelaufgabenbearbeitung nicht grundsätzlich weniger Fehler aufgetreten sind als in den Doppelaufgabenbedingungen. Zumindest im Vergleich zwischen Einzelaufgabenbearbeitung und Doppelaufgaben mit den Zweitaufgaben der visuellen Ablenkung durch Okklusion in den Primäraufgabenausprägungen P-E2 und P-W sticht kein Fehlerhäufigkeitsunterschied hervor. Verglichen mit den Aufgabendurchführungen bei gleichzeitiger Okklusion zeigt sich in der Baseline-Bedingung P-W sogar ein leicht erhöhter mittlerer Fehlerwert. Die Tabelle 4.8 listet die deskriptivstatistischen Kennwerte der Anzahl falscher Reaktionen in den Doppelaufgabenbedingungen auf, ergänzt um den Mittelwertrangplatz jeder Versuchsbedingung.

Die Dynamik der Reaktionsfehler entspricht im Grundsatz dem oben geschilderten Bild der Reaktionszeiten. Mit zunehmendem Ausmaß der Ablenkung durch die Zweitaufgabe, sei sie visueller oder kognitiver Natur, steigt die Anzahl von Falschreaktionen. Zwar liegt das mittlere Fehlerniveau der kognitiv beanspruchenden Versuchsbedingung der Paarung der Primäraufgabe mit der einfachen Variante des Logischen Schließens ([P-E1/P-E2/P-W] & Z-L1, $M = 2.44$) mit $M = 2.44$ annähernd auf gleicher Höhe mit der maximal visuell ablenkenden Versuchsbedingung unter jeweils 1.5-sekündiger Okklusion ([P-E1/P-E2/P-W] & Z-O3, $M = 2.46$), dennoch provo-

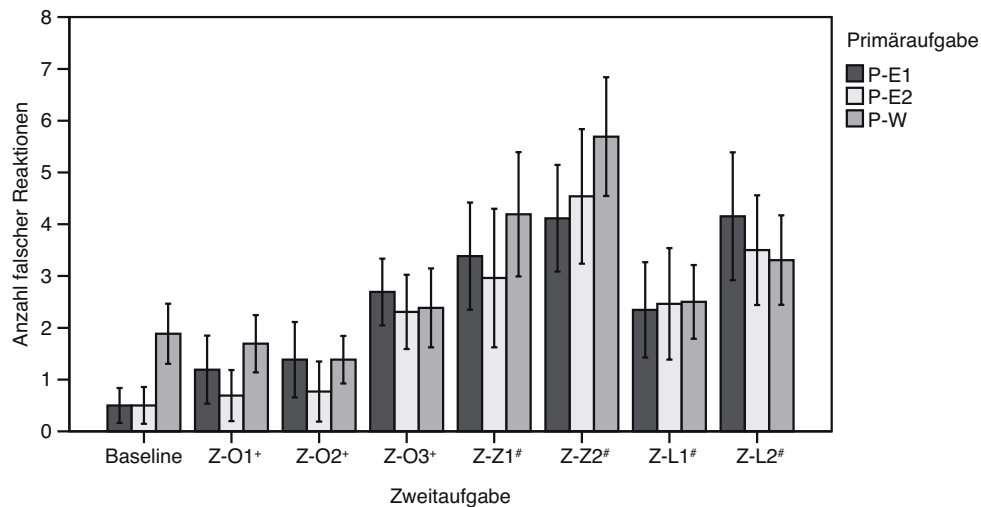


Abbildung 4.5. Mittlere Anzahl und Standardfehler falscher Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

zierten die kognitiv beanspruchenden Versuchsbedingungen mehr Fehler pro Versuchsdurchgang ([P-E1/P-E2/P-W] & [Z-Z.../Z-L...], $M = 3.60$) als die auf der visuellen Ebene manipulierten Versuchsbedingungen ([P-E1/P-E2/P-W] & Z-O..., $M = 1.61$). Innerhalb der Versuchsbedingungen unter kognitiver Zusatzlast stellte sich das Zählen (Z-Z..., $M = 4.15$) im Mittel als fehleranfälliger heraus als das Logische Schließen (Z-L..., $M = 3.05$). Der in Abbildung 4.5 erkennbare Einfluss der Variation der Sekundäraufgabe auf das Zustandekommen der Reaktionsfehler in der Primäraufgabe wird durch die 3×7 -gestufte multivariate Varianzanalyse mit ihrem hoch signifikanten Ergebnis bestätigt, $F(3.134, 78.354) = 26.636, p < .001, \eta^2 = .516$. Noch deutlicher wird dieser Einfluss, wenn die Zweitaufgaben über ihre Schwierigkeitsgrade aggregiert werden und in Gruppen der visuellen Ablenkung, der kognitiven Ablenkung durch Zählen sowie der kognitiven Ablenkung durch Logisches Schließen zusammengefasst werden (siehe Abbildung 4.6). Der F -Test fällt hier ebenfalls hochsignifikant aus, weist aber mit einem Effektstärkemaß von $\eta^2 = .561$ auf dieser Ebene der Betrachtung einen nochmals erhöhten Einfluss der Variation des Zweitaufgabentypus' auf die Anzahl der Reaktionsfehler in der Primäraufgabe aus, $F(1.520, 38.002) = 31.903, p < .001, \eta^2 = .561$. Im Anhang A.1.1 sind in den Tabellen A.5 und A.7 die jeweiligen paarweisen Vergleiche der Fehlermittelwerte aller Versuchsbedingungskombinationen sowohl auf der Ebene der Zweitaufgaben als auf der aggregierten Ebene des Zweitaufgabentyps abgetragen.

Neben der Zweitaufgabenabhängigkeit wurde auch ein tendentieller Einfluss der Primäraufgabenvariation auf das Reaktionsfehleraufkommen gemessen, der jedoch unterschiedlich stark ausfiel. Das inhomogene Bild der Größenbeziehungen der Primäraufgabenbalken je Zweitaufgabe in Abbildung 4.5 illustriert diesen Sachverhalt; der Primäraufgabeneinfluss ist offenbar nicht monoton (vgl. auch Tabelle 4.8). So stellte sich die Doppelaufgabenkonstellation P-W & Z-Z2 bezogen auf die Zahl der Reaktionsfehler in der Primäraufgabe als besonders sensitiv gegenüber zusätzlicher kognitiver Last in der Primäraufgabe heraus, die durch die applizierte Unsicherheit über die jeweils als nächstes geforderte Reaktion eingebracht wurde. Diese Versuchsbedingung ergab mit $M = 5.69$ den größten mittleren Fehlerwert. Die Fehlerwerte der übrigen beiden Primäraufgabenvarianten dieser Doppelaufgabenkonstellation waren in ihrer absoluten Ausprägung gegenüber den anderen Zweitaufgaben ebenfalls erhöht, zeigten aber untereinander nur einen vergleichsweise geringen Unterschied (P-E1 & Z-Z2, $M = 4.12$; P-E2 & Z-Z2, $M = 4.54$). Die einfachere Ausprägung dieser Doppelaufgabenanforderung (Z-Z1) lässt einen ähnlichen Einfluss der Primäraufgabenausprägung erkennen. Reaktionsunsicherheit in der Primäraufgabe führ-

Tabelle 4.8

Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl falscher Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel ($N = 26$)

Versuchsbedingung	min.	max.	M	SD	Rang
Okklusion					
P-E1 & Z-O1	0	5	1.19	1.67	3
P-E1 & Z-O2	0	9	1.38	1.86	4.5
P-E1 & Z-O3	1	8	2.69	1.64	12
P-E2 & Z-O1*	0	4	.69	1.26	1
P-E2 & Z-O2	0	7	.77	1.48	2
P-E2 & Z-O3	1	7	2.31	1.83	7
P-W & Z-O1	0	5	1.69	1.41	6
P-W & Z-O2	0	3	1.38	1.17	4.5
P-W & Z-O3	0	9	2.38	1.94	9
Zählen					
P-E1 & Z-Z1	0	9	3.38	2.64	15
P-E1 & Z-Z2	0	12	4.12	2.63	17
P-E2 & Z-Z1	0	16	2.96	3.41	13
P-E2 & Z-Z2	1	14	4.54	3.31	20
P-W & Z-Z1	0	13	4.19	3.06	19
P-W & Z-Z2**	0	14	5.69	2.92	21
Logisches Schließen					
P-E1 & Z-L1	0	11	2.35	2.35	8
P-E1 & Z-L2	1	13	4.15	3.15	18
P-E2 & Z-L1	0	12	2.46	2.75	10
P-E2 & Z-L2	0	12	3.50	2.70	16
P-W & Z-L1	0	7	2.50	1.82	11
P-W & Z-L2	0	8	3.31	2.20	14

te auch hier zur größten mittleren Fehlerzahl unter den drei Primäraufgabentypen (P-W & Z-Z1, $M = 4.19$). Bei den Primäraufgaben mit determinierter Reaktionsanforderung kehrte sich der Zusammenhang zwischen Primäraufgabenvariation und Fehlerzahl verglichen mit der Zweitaufgabe Zählen schwer indessen zumindest optisch um (siehe Abbildung 4.5). Der eingeschränkte Verkehrszeichenkontrast in der Primäraufgabe verursachte im Mittel leicht mehr Fehler (P-E1 & Z-Z1, $M = 3.38$) als die Primäraufgabenausprägung mit hohem Verkehrszeichenkontrast (P-E2 & Z-Z1, $M = 2.96$). Ein wenig aus dem Rahmen fallen die Versuchstypen mit der Zweitaufgabe Logisches Schließen in ihrer einfachen Ausprägung (P-... & Z-L1). Hier lagen die mittleren Reaktionsfehlerwerte unter allen drei Primäraufgabenvarianten zwischen $M = 2.35$ (P-E1 & Z-L1) und $M = 2.50$ (P-W & Z-L1) auf ungefähr gleichem Niveau (vgl. Tabelle 4.8). Gleichwohl wird die offensichtliche Wirkung der Primäraufgabenvariation auf die mittleren Fehlerzahlen durch die Varianzanalyse bestätigt, und zwar sowohl bei der granularen Analyse aller Doppelaufgabenkonstellationen, $F(1.871, 46.773) = 4.159, p = .024, \eta^2 = .143$, als auch auf der bereits oben geschilderten Aggregationsstufe des Zweitaufgabentyps (Okklusion [Z-O...] vs. Zählen [Z-Z...] vs. Logisches Schließen [Z-L...]) (vgl. Abbildung 4.6), $F(1.903, 47.574) = 3.680, p = .035, \eta^2 = .128$. Im direkten Vergleich der F -Test-Werte fällt der Primäraufgabeneinfluss allerdings hinter den Zweitaufgabeneinfluss zurück. Die Variation der Zweitaufgaben verantwortet einen größeren Teil der Varianz der Reaktionsfehler als die Variation der Primäraufgabe. Für die paarweisen Vergleiche der Mittelwerte der Anzahl der Reaktionsfehler (mittlere Differenzen) sei auf die Tabellen A.6 und A.8 im Anhang A.1.1 verwiesen.

Die oben bereits angesprochene uneinheitliche Größenbeziehung der Primäraufgabenbalken einer Zweitaufgabe im Vergleich zwischen den Zweitaufgaben in der Abbildung 4.5 aber auch in der Abbildung 4.6 lässt, wie oben bereits zum Ausdruck gebracht wurde, einen nicht monoto-

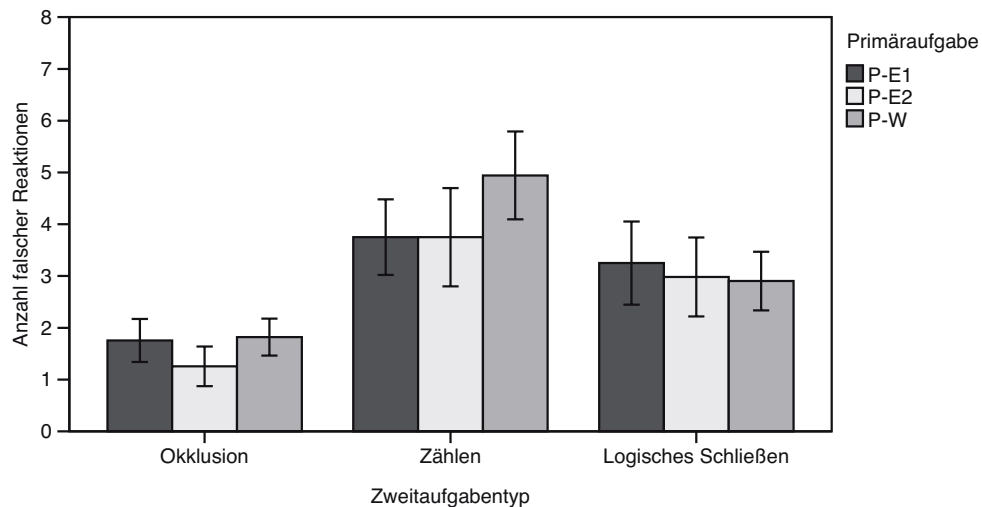


Abbildung 4.6. Mittlere Anzahl und Standardfehler falscher Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabentyp.

nen Einfluss der Variation der Primäraufgabe auf die Anzahl der Reaktionsfehler vermuten. Die durch die Primäraufgabe verursachten Fehlerdifferenzen zwischen den Zweitaufgabenausprägungen sind nicht konstant. Varianzanalytisch wird diese zweitaufgabenabhängige Wirkung der Primäraufgabe zum Teil bestätigt. Auf der Ebene der Einzelanalyse der Zweitaufgaben kann die Nullhypothese der Gleichverteilung der Fehlerwerte über die einzelnen Primär-Zweitaufgabenkonstellationen nicht abgelehnt werden, $F(9.318, 232.949) = 1.652, p = .099$. Auf der Ebene der zu Zweitaufgabentypen (Okklusion [Z-O...], Zählen [Z-Z...], Logisches Schließen [Z-L...]) aggregierten Zweitaufgaben zeigt sich indessen ein schwacher Interaktionseffekt zwischen Primär- und Zweitaufgabentyp, $F(3.348, 83.706) = 2.959, p = .032, \eta^2 = .106$.

Verpasste Reaktionen – Als dritte abhängige Variable ist die Anzahl verpasster Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel in der Primäraufgabe einer genaueren Betrachtung unterzogen worden. Die Abbildung 4.7 stellt die mittleren Auftretenshäufigkeiten der Reaktionsverpasser der einzelnen Zweitaufgabenbedingungen grafisch dar, wiederum ergänzt um die Baseline als semantische Nulllinie für die Interpretation der Verpasserzahlen. Die dazugehörige Deskriptivstatistik ist in der Tabelle 4.9 abgetragen.

In Übereinstimmung mit den zuvor berichteten Leistungsmaßen zeigt sich in den Okklusionsbedingungen (Z-O...) mit zunehmender Okklusionsdauer ein Abfall der Leistungsgüte, das heißt eine Zunahme der Anzahl verpasster Reaktionen. Die Leistung unter 1.5-sekündiger Okklusion ([P-E1/P-E2/P-W] & Z-O3, $M = 3.04$) liegt ungefähr auf gleicher Höhe mit derjenigen bei gleichzeitiger Bearbeitung der einfachen Variante des Logischen Schließens ([P-E1/P-E2/P-W] & Z-L1, $M = 3.10$) und leicht unter der Leistung beim Vorwärtzzählen in Zweierschritten ([P-E1/P-E2/P-W] & Z-Z1, $M = 2.28$). Das bedeutet, dass die am stärksten visuell ablenkende Zweitaufgabe Z-O3 hinsichtlich dieses Parameters ihr maximales Doppelaufgabendekrement auf einem Niveau erreicht, auf dem das Dekrement der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben beginnt. Besonders deutlich wird dieser Zusammenhang anhand der mit der Abbildung 4.8 visualisierten Verpasserhäufigkeit auf der Aggregationsebene der Zweitaufgabentypen. Die kognitive Ablenkung durch Zählen (Z-Z..., $M = 4.20$) sowie durch Logisches Schließen (Z-L..., $M = 3.55$) verursacht unbestritten häufiger ausbleibende Reaktionen als die Verdeckung der Primäraufgabe durch Okklusion (Z-O..., $M = 1.55$). Dass die spezifische Häufigkeit verpasster Reaktionen kausal unter dem Eindruck der Variation der Zweitaufgaben zustande kommt, wird durch die F -Statistik sowohl bei der Analyse aller Zweitaufgabenausprägungen, $F(3.386, 84.640) = 33.335, p < .001, \eta^2 = .571$, als auch nach Aggregation der Zweitaufgaben zu Zweitaufgaben-

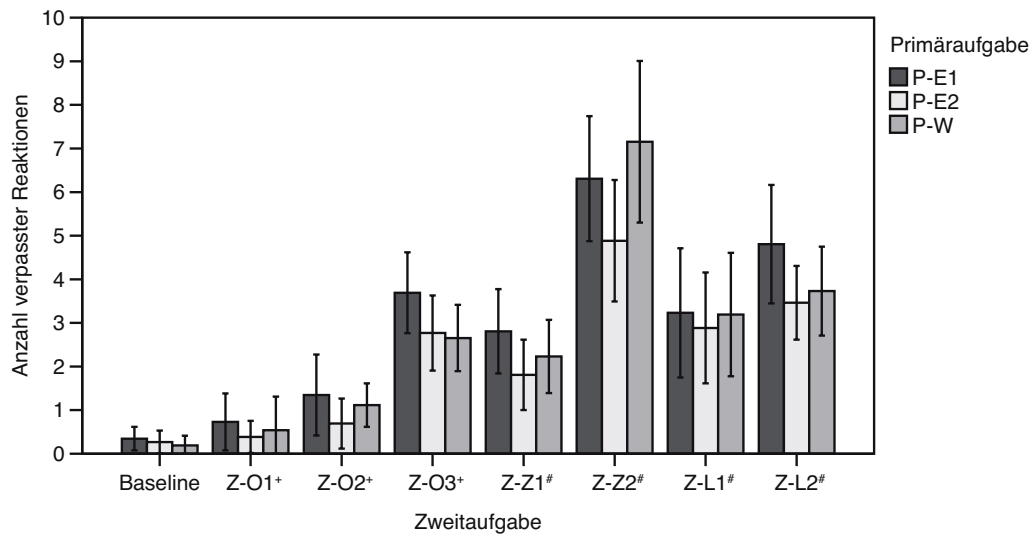


Abbildung 4.7. Mittlere Anzahl und Standardfehler verpasster Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabe (⁺ visuelle Ablenkung, [#] kognitive Ablenkung).

typen (Z-O..., Z-Z..., Z-L...) belegt, $F(1.997, 49.915) = 20.056, p < .001, \eta^2 = .445$. Die Tabellen A.9 und A.11 im Anhang A.1.1 geben Auskunft über die mittleren Differenzen der Anzahl verpasster Reaktionen im paarweisen Vergleich der einzelnen Zweitaufgaben sowie der aggregierten Zweitaufgabentypen.

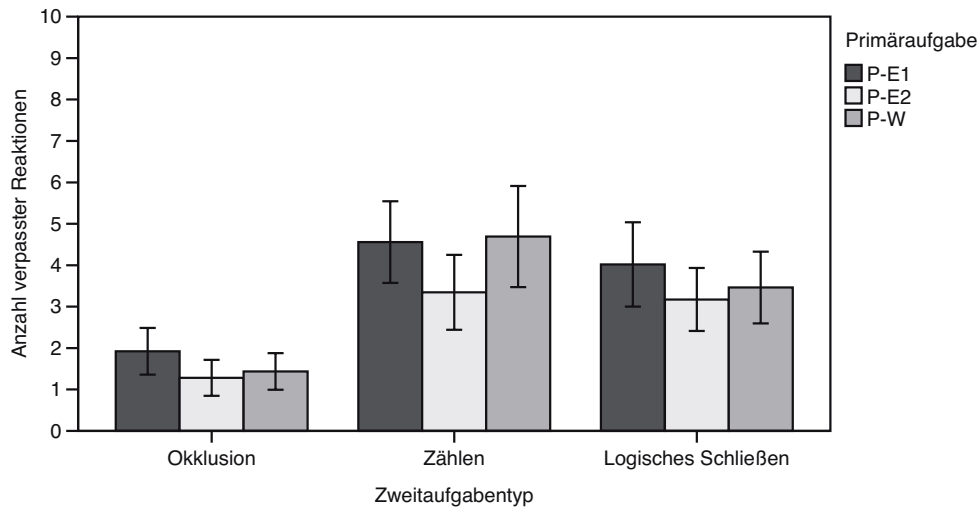


Abbildung 4.8. Mittlere Anzahl und Standardfehler verpasster Reaktionen, getrennt nach Primäraufgabe und Zweitaufgabentyp.

Gleichwohl steht die Anzahl verpasster Reaktionen nicht nur unter dem Eindruck der Zweitaufgabenvariation. Sie ist ebenso deutlich durch die Manipulation der Primäraufgabe determiniert. Bis auf die Paarung mit der schweren Zähl Aufgabe (Z-Z2) wurden bei allen Zweitaufgaben in der Primäraufgabenausprägung mit eingeschränktem Verkehrszeichenkontrast (P-E1) die meisten Verkehrszeichenwechsel verpasst (siehe Abbildung 4.7 und Tabelle 4.9). Bei der Zweitaufgabe Z-Z2 hingegen provozierte die Wahlreaktionsausprägung der Primäraufgabe (P-W) die häufigsten Reaktionsverpasser. Der über alle Zweitaufgaben stabile Einfluss der Primäraufgabenvariation wird durch die Varianzanalyse bestätigt, $F(1.732, 43.300) = 17.262, p < .001, \eta^2 = .408$. Diese Primäraufgabenwirkung schlägt auch nach der Zusammenfassung der Zweitaufgaben zu Zweitaufgabentypen (Z-O..., Z-Z..., Z-L...) durch, $F(1.805, 52.114) = 15.666, p < .001, \eta^2 = .385$; ein Beleg dafür, dass dieser Effekt vergleichsweise stark ist und nicht an Detailausprägungen der Zweitaufgabenstufen eines Typs geknüpft ist. Dass sich insbesondere die Primäraufgabenvarianten P-E1 und P-E2 sowie P-E2 und P-W stark in ihrer Auswirkung auf die Zahl verpasster Reaktionen voneinander unterscheiden, wird anhand der paarweisen Vergleiche der mittleren Differenzen in den Tabellen A.10 und A.12 im Anhang A.1.1 deutlich.

Die Prüfung eines Interaktionseffektes zwischen Primär- und Zweitaufgabenvariation auf das Zustandekommen der verpassten Reaktionen zeigt, dass es eine schwache Wechselwirkung dieser beiden unabhängigen Variablen auf der Analyseebene der Zweitaufgaben gibt, die sehr wahrscheinlich durch die bereits oben geschilderte Umkehrung der Rangfolge der Primäraufgabenvarianten im Zweitaufgabenblock Z-Z2 zustande kommt. Im Gegensatz zu den übrigen Zweitaufgaben verursachte hier nicht der Primäraufgabentyp P-E1 die meisten Verpasser, sondern der Typ P-W. Dass es sich dabei um einen sehr kleinen Interaktionseffekt handelt, wird zum einen durch das Effektstärkemaß η^2 des F -Tests belegt, $F(8.063, 201.583) = 2.727, p = .024, \eta^2 = .083$, und zum anderen durch das Ausbleiben eben jener Interaktion auf der Analyseebene der Zweitaufgabenaggregation zu Zweitaufgabentypen bestätigt, $F(3.616, 78.498) = 1.832, p = .146$. Hier schwindet der Einfluss der Zweitaufgabenbedingung Z-Z2. Die statistische Interaktion kann sich im Messwertaggregat nicht durchsetzen.

Zweitaufgaben

Die Grobanalyse der Zweitaufgabenleistung soll dabei helfen, die Plausibilität der Primäraufgabenleistung abzuschätzen, das heißt zu beurteilen, ob die Versuchspersonen den jeweiligen Versuchsabschnitt mit der gebotenen Grundmotivation für beide Aufgaben bearbeitet haben. Zudem kann die Betrachtung der Zweitaufgabenleistung dabei helfen, den *locus of decrement* zu bestimmen. Ist eine Leistungsabnahme bei der Doppelaufgabenbearbeitung in der Primär- oder in der Sekundäraufgabe zu verzeichnen oder sind beide Aufgaben davon betroffen? Nicht zuletzt lässt sich an der Leistung in den Zweitaufgaben ablesen, ob die Zweitaufgaben in der geplanten Weise unterschiedlich schwer waren.

Okklusion – Da das Okklusionsverfahren keine durch die Versuchsperson aktiv zu bearbeitende Aufgabe darstellte, sondern lediglich eine zu erdulden, aus der Sicht der Versuchsperson passive, Störung der Primäraufgabenbearbeitung verkörperte, sind keine zu analysierenden Versuchsdaten angefallen.

Zählen – Parallel zur Aufgabenbearbeitung durch den Probanden notierte der Versuchsleiter die Anzahl der von der Versuchsperson gezählten Zahlen sowie die Zahl von Fehlern. Dazu verwendete er ein Protokollblatt, das die richtige Zahlenfolge enthielt, so dass er die gezählten Zahlen abhaken und Zählfehler unaufwendig markieren konnte. Die Tabelle A.13 im Anhang A.1.2 fasst die Leistung der Probanden in der Zweitaufgabe Zählen deskriptivstatistisch zusammen.

Innerhalb der zweiminütigen Trialdauer wurden mehr Zahlen vorwärts gezählt als rückwärts. Zwischen beiden Zählvarianten (vorwärts vs. rückwärts) ergab sich ein deutlich signifikanter Unterschied, der auf den Faktor Zweitaufgabenschwierigkeit zurückzuführen ist, $F(1, 25) = 199.478, p < .001, \eta^2 = .889$. Die multivariate Varianzanalyse zeigt indessen keinen signifikanten Einfluss der Verkehrszeichenvariation auf die Anzahl gezählter Zahlen, $F(1.534, 38.358) =$

Tabelle 4.9

Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl verpasster Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 26$)

Versuchsbedingung	min.	max.	M	SD	Rang
Okklusion					
P-E1 & Z-O1	0	8	.73	1.66	4
P-E1 & Z-O2	0	12	1.35	2.37	6
P-E1 & Z-O3	1	10	3.69	2.36	16
P-E2 & Z-O1*	0	4	.38	.94	1
P-E2 & Z-O2	0	6	.69	1.46	3
P-E2 & Z-O3	1	11	2.77	2.20	10
P-W & Z-O1	0	10	.54	1.96	2
P-W & Z-O2	0	5	1.12	1.28	5
P-W & Z-O3	0	10	2.65	1.94	9
Zählen					
P-E1 & Z-Z1	0	9	2.81	2.47	11
P-E1 & Z-Z2	0	15	6.31	3.65	20
P-E2 & Z-Z1	0	7	1.81	2.06	7
P-E2 & Z-Z2	1	14	4.88	3.55	19
P-W & Z-Z1	0	8	2.23	2.14	8
P-W & Z-Z2**	1	21	7.15	4.72	21
Logisches Schließen					
P-E1 & Z-L1	0	14	3.23	3.78	14
P-E1 & Z-L2	1	15	4.81	3.46	18
P-E2 & Z-L1	0	13	2.88	3.24	12
P-E2 & Z-L2	0	8	3.46	2.16	15
P-W & Z-L1	0	13	3.19	3.61	13
P-W & Z-L2	0	11	3.73	2.60	17

.937, $p = .378$. Es kann somit nicht behauptet werden, dass zum Beispiel eine eingeschränkte Verkehrszeichenerkennbarkeit (P-E1) zu langsamerem Rückwärtszählen (Z-Z2) führt, obwohl die Maximalwertunterschiede zwischen den Primäraufgabenausprägungen diese Vermutung nahelegen (siehe Tabelle A.13).

Von einem gewissen Interesse für die Beurteilung der Untersuchungshypothese ist die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen der Primäraufgabenausprägung und der Zählbedingung. Die multivariate Varianzanalyse widerspricht jedoch einem Einfluss der Primäraufgabenbedingungen auf die Geschwindigkeit des Zählens, $F(1.773, 157.295) = 1.840, p = .174$. Unter gesteigerter kognitiver Last durch die Primäraufgabe (P-W) wurde so zum Beispiel nicht langsamer gezählt. Die Betrachtung der Zählfehler ergibt ein vergleichbares Bild. Die Varianzanalyse bestätigt den in der Tabelle A.13 deutlich erkennbaren Einfluss der Zweitaufgabenschwierigkeit auf die Fehlerhäufigkeit, $F(1, 25) = 20.539, p < .001, \eta^2 = .451$. Analog verhält sich auch der Einfluss der Primäraufgabenvariante auf die Anzahl der Zählfehler. Der Primäraufgabentyp allein wirkt nicht unterschiedlich stark zählfehlerverursachend. Die Varianzanalyse bleibt ohne signifikanten Befund, $F(1.975, 49.383) = 1.516, p = .230$. Unter Einbeziehung der Zählvariante offenbart sich dennoch ein leichter Trend. Bleibt die Primäraufgabenvariante beim Vorwärtszählen ohne Fehlereinfluss, so verursacht sie beim Rückwärtszählen kleine messbare Unterschiede in der Anzahl falsch gezählter Zahlen. Gleichwohl wird dieser mutmaßliche Interaktionseffekt zwischen Primäraufgabentyp und Zählvariante durch die varianzanalytische Prüfung nicht bestätigt, $F(2, 50) = 3.180, p = .05$.

Logisches Schließen – Die Analyse der Bearbeitungsleistung in der Zweitaufgabe Logisches Schließen erfolgt anhand von Zeit- und Fehlermaßen. Die Antwortzeiten sind während des Ver-

suchs vom Versuchsleiter händisch mit einer softwarebasierten Stoppuhr erfasst worden. Sie enthalten somit einen Verhaltensanteil des Versuchsleiters, bei dem aber davon ausgegangen wird, dass er konstant ist und alle Zeitwerte annähernd gleichläufig beeinflusst. Aufgrund der Natur der Sache liegen keine Antwortzeiten für diejenigen Sätze vor, deren Beurteilung nicht im vorhandenen Zeitfenster vom Ende des Satzes bis zum Ende des nachfolgenden Satzes (vorgesehene Zeitlücke für die Antwort + Darbietungszeit des darauffolgenden Satzes) erfolgte. Als verpasste Antwort galten bei der Auswertung somit all jene Antwortzeiten, die deutlich größer als 5000 ms waren. Pro Versuchsbedingung waren von den Versuchspersonen ca. 21 Sätze zu beurteilen. Über die gültigen Antwortzeiten eines Versuchsdurchgangs (richtige und falsche Antworten) wurde das arithmetische Mittel gebildet. Für jeden Versuchsdurchgang des Logischen Schließens liegt ein mittlerer Antwortzeitwert vor. Für die Versuchsbedingung P-W & Z-L1 fehlt der Datensatz einer Versuchsperson. In die Auswertung konnten hier nur die Messdaten von 25 der 26 Versuchspersonen eingehen.

Die Tabelle A.14 im Anhang A.1.2 gibt einen Überblick über die Antwortzeiten der Probanden. Dabei wird nicht zwischen richtigen und falschen Antworten unterschieden. Zur Einordnung der absoluten Ausprägungen der Antwortzeiten sind in der Tabelle A.14 ebenfalls die entsprechenden Maße der Baseline-Bedingung des Logischen Schließens (schwere Variante Z-L2) angegeben. Anhand der maximalen und mittleren Antwortzeiten wird das Doppelaufgabendekrement eindrucksvoll deutlich. Obwohl in der Baseline-Bedingung die schwere Klasse der Satzvarianten beurteilt werden musste, liegen die Antwortzeiten dennoch unter denen der Doppelaufgabenbedingung mit einfachen Satzvarianten. Bei der inferenzstatistischen Analyse wurde diese Einzelaufgabenbedingung nicht berücksichtigt.

Aus der Tabelle A.14 wird ein Unterschied zwischen den mittleren Antwortzeiten der Zweitaufgabenbedingungen Logisches Schließen einfach (Z-L1) und Logisches Schließen schwer (Z-L2) deutlich. Die Variation des Faktors Schwierigkeit der Zweitaufgabe Logisches Schließen übte einen signifikanten Einfluss auf die Antwortzeiten in der Zweitaufgabe aus, $F(1, 24) = 22.211, p < .001, \eta^2 = .481$.

Zwischen den Varianten der Primäraufgabe ist weder augenscheinlich noch inferenzstatistisch ein substantieller Unterschied erkennbar. Die mittleren Antwortzeiten liegen in allen drei Primäraufgabenbedingungen jeweils ungefähr gleichauf. Bereinigt um den Faktor Zweitaufgabenschwierigkeit kann kein signifikanter Einfluss der Variation der Primäraufgabe auf die Antwortzeiten der Zweitaufgabe angenommen werden, $F(2, 48) = .550, p = .580$. Somit kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass es bezogen auf die Antwortzeiten beim Logischen Schließen eine signifikante Wechselwirkung zwischen Primär- und Sekundäraufgabe gibt. Der F -Test bestätigt diese Annahme. Die Zweitaufgabenantwortzeit unterliegt, abseits der Schwierigkeit des zu beurteilenden Satzes, keinem systematischen Einfluss der Variation der Versuchsbedingung, $F(2, 48) = 1.020, p = .368$.

Die Stoppuhr des Versuchsleiters enthielt eine Option, mit der per Tastendruck die falschen Antworten der Versuchsperson markiert werden konnten. Die Anzahl verpasster Antworten wurde im Zuge der Datenauswertung anhand der Antwortzeiten ermittelt. Alle Antwortzeiten größer 5000 ms galten als Verpasser, da dann nominell bereits die Darbietung des nächsten Satzes erfolgt ist. Die Tabelle A.15 im Anhang A.1.2 dokumentiert die zentralen deskriptivstatistischen Kenngrößen der Antwortfehler und Antwortverpasser. Auch hier gibt die zusätzlich vermerkte Baseline-Bedingung einen Eindruck vom Zweitaufgabendekrement. Es wurden trotz schwerer Satzklasse maximal drei Sätze falsch beurteilt und maximal eine Satzbeurteilung verpasst. In der Einzeldarstellung bereitete es den Versuchspersonen also keine nennenswerten Probleme, die logische Korrektheit der Aussagesätze in der zur Verfügung stehenden Zeit zu beurteilen. Die Doppelaufgabenbedingungen zeichnen ein anderes Bild. Sowohl die maximalen als auch mittleren Anzahlen falscher und verpasster Reaktion stehen deutlich unter dem Eindruck der parallel zu bearbeitenden Primäraufgabe.

Die genaue Analyse der Fehlerzahl fördert ein ähnliches Bild des Einflusses der Zweitaufgabenschwierigkeit auf die Antwortleistung zutage wie die obige Betrachtung der Antwortzei-

ten. Die Anzahl falscher Antworten wird maßgeblich von der Zweitaufgabenschwierigkeit bestimmt, $F(1, 24) = 33.088, p < .001, \eta^2 = .580$. Die Primäraufgabenschwierigkeit bleibt bereinigt um den Faktor Zweitaufgabenschwierigkeit ohne systematischen Einfluss auf das Zustandekommen der Fehlerzahl beim Logischen Schließen, $F(2, 48) = .310, p = .735$. Ebenso kann keine Wechselwirkung zwischen Primär- und Zweitaufgabenvariante identifiziert werden, $F(2, 48) = 1.088, p = .345$.

Das Aufkommen verpasster Antworten entspricht im Grundsatz dem Muster der Parameter Antwortzeit und Antwortfehler. Die Manipulation der Primäraufgabe wirkt nicht systematisch auf die Anzahl verpasster Antworten, $F(1.658, 39.780) = .533, p = .558$. Ebenso widerspricht der F -Test einer signifikanten Wechselwirkung zwischen Primär- und Sekundäraufgabe beim Zustandekommen der Verpasserzahl, $F(1.584, 38.006) = .896, p = .395$. Bemerkenswert bleibt einzig, dass die multivariate Varianzanalyse keinen Einfluss der Zweitaufgabenschwierigkeit auf die Häufigkeit verpasster Antworten ausweist, $F(1, 24) = 3.715, p = .066$. Dieser Befund überrascht, da die Lageparameter der verpassten Antworten (siehe Tabelle A.15) vordergründig für einen Unterschied zwischen einfacher und schwerer Zweitaufgabe sprechen.

Vergleich der Dekrementprognose mit den gemessenen Dekrementen

In den Tabellen 4.7, 4.8 und 4.9 ist für jede Versuchsbedingung ein Rangplatz auf der Grundlage der Ausprägung der jeweiligen unabhängigen Variable Reaktionszeit, Anzahl von Reaktionsfehlern sowie Anzahl von verpassten Reaktionen abgetragen. Vor dem Versuch wurde mit Hilfe des *Computational Models* eine Prognose über eben jene Rangordnung der Versuchsbedingungen aufgestellt (siehe Tabelle 4.5). Die Tabelle 4.10 enthält die nicht parametrischen Korrelationen (Spearman's ρ) zwischen der prognostizierten Rangfolge der Ablenkungswirkung der Versuchsbedingungen und der experimentell erhobenen Rangfolge. Die Interferenzprognose hat sich empirisch nicht bestätigt. Zwischen der Prognose und den Messwertreihen besteht allenfalls eine schwach negative Korrelation. Dass zwischen den Doppelaufgabenbedingungen unterschiedlich starke Ablenkungseffekte aufgetreten sind und diese ebenso differenziert wie zuverlässig gemessen werden konnten, wird dagegen anhand der sehr hohen Korrelationen zwischen den abhängigen Variablen deutlich.

Tabelle 4.10

*Korrelationen der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz, operationalisiert über die Reaktionszeiten richtiger Reaktionen sowie die Anzahl falscher und verpasster Reaktionen (** $p < .001$)*

	Reaktionszeit	Reaktionsfehler	Reaktionsverpasser
TI	-.186	-.225	-.246
Reaktionszeit		.918**	.938**
Reaktionsfehler			.816**

4.2.4 Diskussion

In der ersten experimentelle Untersuchung dieser Arbeit wurden anhand einer sehr einfachen Reiz-Reaktions-Anforderung visuelle und kognitive Ablenkungseffekte einer näheren Analyse unterzogen. Es ist der Versuch unternommen worden, durch die Betonung visueller Prozesse operational zwischen visueller und kognitiver Ablenkung zu unterscheiden, indem geprüft wurde, ob die Reaktion auf Verkehrszeichenwechsel stärker durch Okklusion, also die optische Verdeckung des Auslösereizes (visuelle Ablenkung) beeinträchtigt wird als durch paralleles Zählen oder Logisches Schließen (kognitive Ablenkung). Die Befundlage widerspricht sehr eindeutig

der vor der Untersuchung postulierten Beziehung zwischen Ablenkungsqualität und Reaktionsverhalten.

Bewertung der Untersuchungshypothesen

Allgemeine Untersuchungshypothese – Wirkung der Zweitaufgabe auf die Primäraufgabe – Die Ergebnisse des ersten Versuchs belegen eindrucksvoll die Abhängigkeit des Reaktionsverhaltens auf die Verkehrszeichenwechsel der Primäraufgabe von zusätzlich zu bearbeitender Zweitaufgaben. Zum Beispiel übertrug sich die schrittweise Verlängerung der Okklusionszeit um jeweils 500 ms (500 ms, 1000 ms, 1500 ms) nahezu linear in längere Reaktionszeiten. Gleiches gilt für die Erhöhung des Schwierigkeitsgrades der kognitiven Zweitaufgabe Logisches Schließen. Unter der Bearbeitung ihrer schweren Ausprägung mit negativierenden Beschreibungen der Buchstabenanordnung (Z-L2) wurde von den Versuchspersonen in der Primäraufgabe stabil später reagiert als bei der Beurteilung einfacher affirmierender Aussagesätze (Z-L1). Die entsprechende Teilaussage der Hypothese H 1.1 kann damit bestätigt werden: Je länger die Okklusion andauert, desto größer sind die Reaktionszeiten in der Primäraufgabe, unabhängig von der Ausprägung der Primäraufgabe (P-E1, P-E2, P-W). Die Kernaussage der Hypothese H 1.1, wonach die Reaktionszeiten auf Verkehrszeichenwechsel in der Primäraufgabe unter Okklusion (visuelle Ablenkung) größer sein sollten als unter kognitiver Ablenkung (Zählen, Logisches Schließen), kann indessen aufgrund der sehr eindeutigen Datenlage nicht aufrecht erhalten werden. Keine der Okklusionsvarianten, gleich welcher Paarung mit einer der drei Primäraufgabenausprägungen, provozierte längere Primäraufgabenreaktionszeiten als eine der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben. Insbesondere die Abbildung 4.4 betont diesen Befund. Die Reaktionszeiten unter Okklusion lagen sämtlich unter denen ihrer kognitiven beanspruchenden Gegenstücke.

Die nähere Betrachtung der Fehlerrate in der Primäraufgabe fördert ähnliche Erkenntnisse zutage. Die mittlere Fehlerzahl der maximal visuell ablenkenden Zweitaufgabe der 1.5-sekündigen Okklusion (Z-O3) liegt bestenfalls gleichauf mit der Zahl der Fehler unter den hier empirisch ermittelten am wenigsten kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben des Zählens in Zweierschritten (Z-Z1) und des einfachen Logischen Schließens (Z-L1). Alle übrigen Versuchsbedingungen mit kognitiver Zusatzlast führten zu mehr Primäraufgabenfehlern als die visuell ablenkenden Okklusionsvarianten, und zwar wiederum sehr konsistent über die drei Ausprägungen der Primäraufgabe (P-E1, P-E2, P-W) hinweg. Konsequenterweise muss auch die Hypothese 1.2 abgelehnt werden. Lediglich die auch beim Fehleraufkommen prognostizierte – zugegeben triviale – Beziehung zwischen Zweitaufgabenschwierigkeit und Fehlerrate hat sich im Trend bestätigt. Das Logische Schließen anhand schwerer Aussagesätze (Z-L2) ging mit häufigeren Fehlreaktionen in der Primäraufgabe einher als die Beurteilung einfacher Sätze (Z-L1). Ebenso führte die Okklusion von 1500 Millisekunden (Z-O3) zu mehr Falschreaktionen als die einsekündige Okklusion (Z-O2). Ähnlich eindeutig ist die Beziehung zwischen dem Vorwärtszählen in Zweierschritten (Z-Z1) und dem Rückwärtszählen in Siebenschritten (Z-Z2).

Die Messdaten der verpassten Primäraufgabenreaktionen fügen sich nahtlos in das Ergebnisbild, das durch die abhängigen Variablen Reaktionszeit und Anzahl von Reaktionsfehlern gezeichnet wird. Mit ansteigender Zeitdauer der Primäraufgabenverdeckung (Z-O1, Z-O2, Z-O3) nimmt die Häufigkeit von Verpassern erwartungskonform zu. Auf Reize, die nicht gesehen werden können, kann nicht reagiert werden. Erkenntnisleitend ist dagegen in erster Linie die Gegenüberstellung insbesondere der Okklusionsbedingung Z-O3 mit den kognitiv ablenkenden Versuchsbedingungen. Ihre jeweils einfachen Ausprägungen Z-Z1 und Z-L1 kommen einer 1.5-sekündigen Reizverdeckung der Primäraufgabe gleich. Ihre schweren Varianten Z-Z2 und Z-L2 verursachen hingegen deutlich häufiger ein Ausbleiben der Reaktion auf Verkehrszeichen. Wird ein linearer Zusammenhang zwischen der Okklusionsdauer und der Anzahl verpasster Reaktionen angenommen, dürfte das Rückwärtszählen in Schritten zu sieben (Z-Z2) in etwa einer zweisekündigen Okklusion entsprechen. Auch die Beurteilung verneinend formulierter Satzaussagen (Z-L2) dürfte ein entsprechendes Okklusionsäquivalent von deutlich über 1.5 Sekunden besitzen. Dass auch die Teilhypothese H 1.3 abgelehnt werden muss, wird unmissverständlich in

der Abbildung 4.8 sichtbar. Die kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben verursachen ein häufigeres Ausbleiben der adäquaten Primäraufgabenreaktion als die visuelle Ablenkung durch Okklusion.

In der Zusammenschau der Reaktionszeit- und Fehlerratergebnisse sowie der Anzahl verpasster Reaktionen muss die allgemeine Untersuchungshypothese H 1, wonach das Doppelaufgabendeckrement unter visueller Ablenkung in der gewählten Untersuchungssituation größer ausfallen sollte als das Dekrement durch kognitive Ablenkung, ohne nennenswerten Interpretationsspielraum abgelehnt werden. Sowohl die berichteten Reaktionszeiten, die Fehlerraten als auch die Anzahl verpasster Reaktionen bei der Primäraufgabenbearbeitung widersprechen dieser Grundannahme deutlich. Die drei Messgrößen lagen aggregiert in den durch kognitive Ablenkung gekennzeichneten Versuchsbedingungen über denen mit visueller Ablenkung. Die Aufgabenkonstellationen mit kognitivem Ablenkungsanteil haben sich als weniger robust gegenüber einer Störung gezeigt als die Aufgabenkonstellationen, die eine visuelle Zusatzlast enthielten.

Spezielle Untersuchungshypothese – Wirkung der Variation der Primäraufgabe – Die Hypothesen H 2.1 und H 2.3 können zusammenfassend beurteilt werden. Sowohl die visuelle Variation der Primäraufgabe (Kontrastveränderung) als auch ihre kognitive Variation (Manipulation der Reaktionsvorhersagbarkeit) wirken sich in prognostizierter Weise auf die Primäraufgabenreaktionszeiten und die Primäraufgabenfehler aus. Als Basisvariante mit einfacher Schwierigkeit galt die Primäraufgabenausprägung mit normalem Verkehrszeichenkontrast und vorhersagbarer Reaktionsanforderung (P-E2). Sowohl die Verschlechterung des Kontrasts (P-E1, visuelle Variation der Primäraufgabe gemäß Hypothese H 2.1) als auch die Beeinträchtigung der Vorhersagbarkeit der geforderten Reaktion (P-W, kognitive Variation der Primäraufgabe gemäß Hypothese H 2.3) führten zu größeren Reaktionszeiten und einer höheren Reaktionsfehlerquote. Beide Hypothesen (H 2.1, H 2.3) können bestätigt werden. In direkter Folge davon wird auch die Gültigkeit der übergeordneten Hypothese H 2 angenommen: Die Primäraufgabenleistung sinkt in der Tat mit ansteigender Primäraufgabenschwierigkeit.

Der eigentlich durch die Variation der Primäraufgabe auf den Dimensionen visuelle und kognitive Schwierigkeit angestrebte Erkenntnisgewinn hängt indessen von der Beurteilung der Interaktionshypothesen H 2.2 und H 2.4 ab. Es wurde eingangs vermutet, dass die Erhöhung der Primäraufgabenschwierigkeit auf der Dimension Kognition zu größeren Doppelaufgabendeckrementen unter kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben führen sollte als unter visuell ablenkenden Zweitaufgaben (Okklusion). Der entsprechend umgekehrte Zusammenhang wurde zwischen visueller Variation Schwierigkeitsvariation der Primäraufgabe und den visuell ablenkenden Zweitaufgaben angenommen. Obgleich die absoluten Reaktionszeiten, die Reaktionsfehler- und die Reaktionsverpasserzahlen eben jene Interaktion tendenziell erkennen lassen, blieb der Wechselwirkungseffekt uneinheitlich und abhängig vom jeweiligen Parameter sehr fragil. Anhand der abhängigen Variable *Reaktionszeit* zeigte sich keinerlei Interaktion. Bei der Messgröße *Reaktionsfehler* wurde ein schwacher Interaktionseffekt auf der Aggregationsebene der Zweitaufgabentypen (Zusammenfassung der Einzelaufgaben zu den Typen Okklusion [Z-O...], Zählen [Z-Z...], Logisches Schließen [Z-L...]) sichtbar, jedoch nicht bei der granularen Betrachtung der Einzelaufgaben. Bei der abhängigen Variable *Anzahl verpasster Reaktionen* hingegen führte die Aggregation der Zweitaufgaben zu einer sehr schwachen statistischen Interaktion, die Betrachtung der Einzelaufgaben blieb jedoch diesbezüglich ohne Befund. Ob es somit gelungen ist, visuelle bzw. kognitive Ablenkungseffekte durch die geschickte Wahl der Primäraufgabenausprägung zu betonen oder gleichsam zu provozieren, kann anhand der vorliegenden Daten nicht sicher behauptet werden. Ein gewisser Trend in Richtung der Untersuchungshypothese ist zwar erkennbar, es wären aber stärkere Effekte zu fordern, um daraus generalisierbare Aussagen ableiten zu können.

Leistungsdynamik der Zweitaufgaben – Die Analyse der Zweitaufgabenleistungen unterläuft die oben getroffenen Urteile über die Untersuchungshypothesen nicht. Mit zunehmender Zweitaufgabenschwierigkeit sinkt die Leistung. Das bedeutet, in den Zählbedingungen wurden weniger Zahlen bei gleichzeitig erhöhter Fehlerrate gezählt. Beim Logischen Schließen ergab sich ein identischer Leistungstrend. Die Anhebung der Satzschwierigkeit verursachte über alle Primär-

aufgabenbedingungen hinweg längere Antwortzeiten und mehr Antwortfehler. Die Analyse der Interaktion zwischen Primär- und Sekundäraufgaben ergab aber auch hier keine belastbare, das heißt statistisch signifikante Wechselwirkung zwischen Primär- und Zweitaufgaben, die im Sinne der Untersuchungshypothese auszulegen wäre. Erwähnenswert bleibt, dass sich zumindest bei der Zweitaufgabe Logisches Schließen für deren schwere Ausprägung (Z-L2) die Grundleistung bestimmt wurde, ein Doppelaufgabendekrement in den Leistungsparametern zeigte. Somit bewirkte die Variation der Schwierigkeit dieses Zweitaufgabentyps nicht nur absolute Leistungseinbußen in der Primäraufgabe, sondern auch eine relative Leistungsabnahme in der Zweitaufgabe selbst, die unabhängig vom Zweitaufgabenschwierigkeitsgrad war und der Tatsache der Doppelaufgabenbearbeitung zugewiesen werden muss.

Passung zwischen Dekrementprognose und gemessenen Dekrementen

Die fehlende Übereinstimmung zwischen errechneter, das heißt prognostizierter Aufgabeninterferenz auf Basis des *Computational Models* und empirisch erhobener Interferenz lässt sich auf zwei wesentliche Faktoren zurückführen. Zum Ersten erfolgte die Zuordnung der Schwierigkeitswerte zu den Ressourcen der Informationsverarbeitung rational begrenzt. Das bedeutet, die Parametrierung des Modells könnte fehlerbehaftet sein. Anhand von Oberflächenmerkmalen einer Aufgabe ist nur sehr schwer zu entscheiden, welche zugrundeliegenden Prozesse oder Ressourcen diese Aufgabe beansprucht. So kann beispielsweise nicht mit Gewissheit gesagt werden, dass das Ausmaß der Inanspruchnahme kognitiver Ressourcen bei den Zählaufgaben in der in der Tabelle 4.4 beschriebenen Ausprägung erfolgte. DeStefano und LeFevre (2004) sowie de Rammelaere, Stuyven und Vandierendonck (2001) weisen gleichlautend auf die Bedeutsamkeit des Arbeitsgedächtnisses bei der Bearbeitung von mentalen Arithmetikaufgaben hin. Dennoch liegen noch keine konsistenten Erkenntnisse darüber vor, inwiefern und in welchem Ausmaß *Phonological loop* und *Visual-spatial sketch pad* an der Bearbeitung verschiedener Ausprägungen mentaler Arithmetikaufgaben beteiligt sind (vgl. DeStefano & LeFevre, 2004; de Rammelaere et al., 2001). Umso schwieriger ist es für einen anwendungsorientierten Beurteiler, derartigen Aufgaben im Rahmen des *Computational Models* adäquate Beanspruchungswerte beispielsweise auf den Dimensionen *Cognitive spatial* (Cs) bzw. *Cognitive verbal* (Cv) zuzuweisen. Die Implementierung des Modells erfordert Detailkenntnisse über die Aufgabe, die mit der nötigen Genauigkeit nur durch eine eingehende experimentelle Analyse erlangt werden können. Dies würde die Handhabbarkeit und Nützlichkeit des Modells substantiell unterlaufen. Zum Zweiten könnte die Nichtpassung auf Unzulänglichkeiten des Modells hindeuten. Dies kann nur im Zuge weiterer Validierungsversuche entschieden werden.

Interpretation der Befunde und Schlussfolgerungen für die Anschlussuntersuchung

Zunächst kann festgehalten werden, dass es mit dem gewählten experimentellen Vorgehen gelungen ist, sowohl unterschiedliche Ausprägungsgrade von Ablenkung zu applizieren – zunächst losgelöst von ihrer Qualität – und diese zuverlässig und konsistent mit Hilfe der Leistungsparameter Reaktionszeit, Anzahl von Reaktionsfehlern und Anzahl von verpassten Reaktionen zu erfassen. Damit war die Grundvoraussetzung für die Prüfung der eigentlichen Fragestellung des ersten Versuchs erfüllt. Die Kernhypothese des ersten Versuchs konnte jedoch nicht bestätigt werden. Dafür lassen sich inhaltliche und methodische Gründe anführen, auf die im folgenden eingegangen werden soll und die die Basis für die Revision des Versuchs darstellen.

Eignung der Okklusionsmethode als visuell ablenkende Zweitaufgabe – Mit Hilfe der Okklusion der Primäraufgabe konnte gezeigt werden, dass die Primäraufgabe sensitiv auf visuelle Störungen reagiert, und zwar linear ansteigend mit dem Ausmaß der visuellen Beeinträchtigung. Obwohl die Okklusionsphasen nicht mit dem Wechsel der Verkehrszeichen synchronisiert wurden – beide waren allein zufallsgesteuert –, führten längere Okklusionsphasen im Mittel zu größeren Reaktionszeiten. Ein psychologischer Erkenntnisgewinn kann daraus aber nur sehr begrenzt

abgeleitet werden. Die Leistungsmaße der Primäraufgabe geben in diesem Fall keine Auskunft über das Vorhandensein, die Beschaffenheit oder die Ausprägung des Abgelenktseins. Dazu fehlt der Okklusionsmethode der tatsächliche Ablenkungscharakter im Sinne einer Verschiebung von Aufmerksamkeit (für eine Begriffsklärung von Ablenkung siehe z. B. Bach et al., 2009 und Regan et al., 2011). Auf die Verkehrszeichen wurde unter Okklusion schlicht später oder gar nicht reagiert, weil der reaktionsinduzierende Hinweisreiz verdeckt wurde. In den Momenten der Verdeckung hat der Proband keine Möglichkeit zu reagieren, unabhängig davon, wie stark sein Informationsverarbeitungssystem in Anspruch genommen wird. Die abhängigen Variablen bilden vielmehr eins zu eins die Dauer der Okklusion ab. Für die Okklusionsmethode spricht jedoch ihre große funktionale Transparenz. Sie besitzt keine versteckten Wirkmechanismen, die die Befundinterpretation erschweren. Das Verfahren besitzt eine hohe Augenscheinvalidität für den Fakt des abgewendeten Blicks. Gleichwohl besteht in eben jener Stärke auch ihre größte Schwäche. Es handelt sich bei der Okklusion nicht um eine echte Zweitaufgabe. Es findet kein aktiver Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen der Primär- und der Zweitaufgabe statt, der als Ablenkung anzusehen wäre. Ebenso muss der visuelle Fokus nicht zwischen zwei Aufgaben umgeschaltet werden. Auch während der Phase der Okklusion besteht eine vollständige Reaktionsbereitschaft zur Bearbeitung der Primäraufgabe. Diese Methodenschwäche wurde auch von Lansdown et al. (2004) sowie Gelau und Schindhelm (2010) benannt. Gelau und Schindhelm (2010) stellten fest, dass Probanden während der Phase der Okklusion die eigentlich verdeckte Testaufgabe weiterbearbeiteten (Bedienung eines Fahrerinformationssystems) und damit die durch die Okklusion beabsichtigte Unterbrechung unterliefen. Lansdown et al. (2004) betonen darüber hinaus, dass während der Okklusion kein echtes *Multitasking*, das heißt keine echte Mehrfachaufgabenbearbeitung stattfindet, wie sie jedoch charakteristisch für das Abgelenktsein und somit für denjenigen Zustand ist, der mit der Okklusionsmethode hergestellt werden soll. Zwischen der Bearbeitung der untersuchten Aufgabe und der Okklusion findet kein *Time sharing* statt, das immer auch eine gewisse kognitive Komponente enthält (Lansdown et al., 2004). Gelau und Schindhelm (2010) schlagen vor, den Okklusionsabschnitt mit einer einfachen auditorischen Trackingaufgabe zu paaren, um die passive Störung durch die Okklusion in eine aktiv ablenkende Zweitaufgabe zu wandeln. Damit könnte jedoch die Sparsamkeit und Eleganz des Verfahrens verloren gehen (Lansdown et al., 2004).

Für den zweiten Versuch dieser Arbeit ist eine visuell ablenkende Zweitaufgabe zu fordern, die einen tatsächlichen Aufgabencharakter besitzt, das heißt eine Aufgabe, die ein Ziel besitzt, das unter Aktivierung der visuell-perzeptiven Komponenten des Informationsverarbeitungssystems aktiv verfolgt werden muss.

Eignung der kognitiv ablenkenden Zweitaufgabe Zählen – Die Tauglichkeit der Zweitaufgabe *Zählen* zur Auslösung kognitiver Ablenkung muss nicht hinterfragt werden. DeStefano und LeFevre (2004) heben die Abhängigkeit selbst einfachster mentaler Arithmetikaufgaben von der zentralen Exekutive des Arbeitsgedächtnisses hervor (vgl. auch de Rammelaere et al., 2001). Dass mentale Arithmetikaufgaben geeignet sind, kognitive Beanspruchung zu erwirken (vgl. Odgen et al., 1979; O'Donnell & Eggemeier, 1986), zeigt sich ebenso eindrucksvoll anhand der Ergebnisse dieses Versuchs. Insbesondere das Rückwärtszählen in Schritten zu sieben (Z-Z2) ging mit den größten Reaktionszeiten und der höchsten Anzahl von Reaktionsfehlern sowie Reaktionsverpassern in der Primäraufgabe einher. Gleichzeitig stützen diese Ergebnisse den weiter oben angeführten Einwand, dass derartige Aufgaben möglicherweise eine zu große mentale Beanspruchung darstellen könnten. Zudem zeichnet sich die Zählaufgabe durch eine große inhaltliche Ähnlichkeit mit der Primäraufgabe aus. Beide Aufgaben basieren auf Zahlenmaterial. Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass es bereits auf der Ebene der Reizkodierung zu Interferenzen zwischen den angezeigten Geschwindigkeitsvorgaben und der mentalen Zähl Anforderung kam. Vor allem bei Zahlen, die diejenigen Ziffern enthalten, die momentan auf dem Verkehrszeichen angezeigt werden, ist eine wechselseitige Störung allein aufgrund des Versuchsmaterials nicht auszuschließen. Auch wenn die Geschwindigkeitsvorgaben der Primäraufgabe zunächst rein visuelle *cues* (Hinweisgeber) sind, besitzen sie eine Semantik, die nur schwerlich unterdrückt werden kann. Der Aspekt der strukturellen Ähnlichkeit der Primär- und

Zweitaufgaben (*structural similarity*) rückt damit in den Vordergrund (vgl. Wickens & McCarley, 2008). Einige Aufgabenpaarungen des Versuchs sind sich strukturell ähnlicher als andere. Dies könnte sowohl zu einer wechselseitigen Störung oder aber zu einer Leistungsverbesserung durch Integration der beiden Teilaufgaben führen. In jedem Fall ist die Vergleichbarkeit und Interpretierbarkeit der Primäraufgabenleistungen verschiedener Zweitaufgabentypen aufgrund derartiger verdeckter Abhängigkeiten erschwert.

Allgemeine Eigenschaften der Zweitaufgaben – Ein weiterer diskussionswürdiger Aspekt der Zweitaufgaben ist ihre unterschiedliche Dringlichkeit. Das Tempo der Zweitaufgaben *Zählen* wurde von den Probanden selbst bestimmt. Die Zählaufgaben waren *subject-paced*. Das Logische Schließen sowie die Okklusion erfolgten hingegen *system-paced* – das Bearbeitungs tempo wurde extern vorgegeben. Bereits im Abschnitt 2.2.4 wurde auf der Seite 29 auf den Einfluss des Faktors Aufgabendringlichkeit hingewiesen. Systemgetakteten Aufgaben (*system-paced*) kommt aufgrund ihrer größeren Dringlichkeit automatisch eine höhere Priorität zu als selbstgetakteten Aufgaben (*subject-paced*). Solange beide Aufgaben der Doppelaufgabensituation systemgetaktet appliziert werden, ist eine ungewollte Prioritätenverschiebung zwischen den Aufgaben unwahrscheinlich, da das Systemtempo und somit die Aufgabenpriorisierung durch den Versuchsleiter kontrolliert werden kann. Hierbei muss lediglich darauf geachtet werden, dass keine der beiden Aufgaben vollständig vernachlässigt wird. Selbstgetaktete Aufgaben bieten dagegen immer die Möglichkeit der Beanspruchungskompensation. Wird die Gesamtbeanspruchung zu groß, könnte beispielsweise im vorliegenden Fall durch Tempoverlangsamung beim Zählen aktives Beanspruchungsmanagement betrieben werden. Durch aktives Setzen eines Bearbeitungszeitfensters kann dem entgegengewirkt werden. Darauf wurde in diesem Versuch verzichtet.

Weiterhin ist anzumerken, dass der Zeitpunkt der Ablenkung durch die jeweilige Zweitaufgabe nicht kontrolliert wurde. Die Primär- und Zweitaufgaben wurden nicht miteinander synchronisiert. Somit konnte die Interaktion zwischen der Primär- und den Zweitaufgaben nicht detailliert kontrolliert werden. Da jedoch im Verlauf eines Trials zahlreiche Verkehrszeichenwechsel mit vielen Zweitaufgabenwiederholungen im Zufallsverfahren gepaart wurden, fallen etwaige Fehler einflüsse durch ein ungünstiges, das heißt ein nicht der Versuchsabsicht entsprechendes Aufeinandertreffen von Primär- und Zweitaufgabenrealisierung nicht ins Gewicht. Sie wirken nicht systematisch verzerrend. So ist es beispielsweise sehr unwahrscheinlich, dass die 1.5-skündige Okklusion immer in eine Phase der 4.5-sekündigen Verkehrszeichendarbeitung fällt.

Schließlich muss der *auditory pre-emption effect* akustisch dargebotener Aufgaben erwähnt werden. Sowohl Wickens, Dixon und Seppelt (2005), Wickens und McCarley (2008) aber auch Renner (1995) weisen auf die in Relation größere Dringlichkeit bzw. den Vorrang von akustisch dargebotenen Aufgaben gegenüber rein visuellen Aufgaben hin. Das Logische Schließen hätte demnach eine in zweifacher Weise gesteigerte Dringlichkeit gegenüber der Aufgabe des Zählens. Es wurde sowohl *system-paced* als auch akustisch dargeboten. In dieser Arbeit wurde der *auditory pre-emption effect* indessen aus pragmatischen Gründen vernachlässigt. Es lassen sich weder visuell ablenkende Aufgaben auf akustischer Basis entwickeln, noch ist es möglich, kognitiv ablenkende Aufgaben anhand von visuellem Material ohne visuelle Verarbeitungsanteile zu konstruieren.

Interaktion zwischen Primär- und Zweitaufgabentypen – Zwischen den Ausprägungen der Primäraufgabe und den Varianten der Zweitaufgaben zeigen sich keine systematischen Wechselwirkungen. Leistungsunterschiede zwischen den Primäraufgabenausprägungen bilden sich gleichförmig in allen Zweitaufgaben ab, unabhängig davon, ob die Zweitaufgaben als visuell oder als kognitiv ablenkend gelten. Die Verwendung einer Wahlreaktionsaufgabe (in diesem Fall P-W) unterstützt nicht zusätzlich dabei, zwischen visueller und kognitiver Ablenkung zu trennen. Im entgegengesetzten Fall hilft auch die Manipulation der Erkennbarkeit der Primäraufgabe nicht dabei, visuelle Ablenkungseffekte herauszustellen. Im Folgeversuch kann auf eine Variation der Primäraufgabe auf der visuellen und auf der kognitiven Dimension verzichtet werden. Erwähnenswert ist indessen, dass beide Aufgabengruppen (Primär- und Zweitaufgaben) Dekremente durch die zeitgleiche Bearbeitung aufweisen. Die Doppelaufgabendekremente der Primärauf-

gabe wurden im Ergebnisteil ausführlich referiert. Für die Zweitaufgabe Logisches Schließen ergeben sich die Dekremente im Vergleich mit der Grundleistung (Baseline) dieser Aufgabe. Ein Beleg für ein Dekrement beim Zählen ist die Tatsache, dass das alleinige Vorwärtszählen in Zweierschritten und Rückwärtszählen in Siebenerschritten nachvollziehbar nahezu fehlerfrei möglich ist. Entsprechende Probeversuche während der Konstruktion des Experiments bestätigen dies.

Zusammenfassung

Ogleich die Haupthypothese H 1 mit dem ersten Versuch nicht bestätigt werden konnte, hat sich der gewählte Zugang als anknüpfungswürdig erwiesen. In einem zweiten Versuch soll durch eine Anpassung der Primäraufgabe – die Varianten P-E1 und P-W werden verworfen – sowie eine Überarbeitung des Zweitaufgabenportfolios – Verzicht auf das Okklusionsverfahren, Applikation einer vollwertigen visuell ablenkenden Zweitaufgabe und Erweiterung der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben auf zusätzliche kognitive Informationsverarbeitungsmechanismen bei gleichzeitiger Vermeidung extremer Beanspruchungsgrade – ein weiterer Versuch zur Prüfung der Unterscheidbarkeit von visueller und kognitiver Ablenkung unternommen werden.

4.3 Versuch 2 – Erfassung visueller Ablenkung mit angepasster Messmethode

4.3.1 Einführung

In Versuch 1 wurde gezeigt, dass visuelle und kognitive Ablenkung zu einer unterschiedlich starken Beeinträchtigung der Primäraufgabe führt. Allerdings ist es mit der verwendeten Methode nicht gelungen, die behauptete Richtung eines möglicherweise qualitativen Unterschieds zwischen visueller und kognitiver Ablenkung zu belegen. In einem zweiten Versuch sollen die Erkenntnisse aus Versuch 1 aufgegriffen werden. Der wohl größte Kritikpunkt an Versuch 1 ist die Auswahl der visuell ablenkenden Zweitaufgabe. Die für die Versuchsperson rein passive Okklusion der Primäraufgabe erlaubt zwar eine Verdichtung visueller Ablenkung auf ihren sensorischen Kern. Von einer Aufgabe im Sinne einer aktiven Auseinandersetzung kann gleichwohl nicht die Rede sein. Zusätzlich haben sich die kognitiven Zweitaufgaben und dabei insbesondere die Rückwärtszählaufgabe als sehr anspruchsvoll für die Versuchspersonen herausgestellt. In Versuch 2 soll die Generalhypothese dieser Arbeit mit einer veränderten Zweitaufgabenzusammenstellung und einem reduzierten Primäraufgabenumfang geprüft werden. Dabei sollen nach Möglichkeit Bodeneffekte durch zu einfache und Deckeneffekte durch zu schwere Zweitaufgaben vermieden werden.

Die Arbeitshypothese für die Ausgestaltung des zweiten Versuchs besteht weiterhin darin, visuelle Ablenkung durch systematische Veränderungen in den Leistungsparametern Reaktionszeit, Anzahl falscher Reaktionen sowie Anzahl verpasster Reaktionen sichtbar zu machen. Zudem soll neuerlich gezeigt werden, dass eben jene Leistungsveränderungen unter kognitiver Ablenkung in dieser spezifischen Anforderung nicht zu verzeichnen sind.

4.3.2 Methode

Stichprobe

Am zweiten Experiment nahmen 25 Versuchspersonen teil, die wiederum aus dem Mitarbeiterstamm des Entwicklungsressorts der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG rekrutiert wurden. Auch hier erfolgte die Teilnahme freiwillig und wurde nicht entlohnt. Die Tabelle 4.11 gibt die zentralen Stichprobeneigenschaften wider.

Tabelle 4.11
Stichprobeneigenschaften des zweiten Versuchs

<i>N</i>	Alter			Geschlecht	
	min.	max.	<i>Mdn</i>	männlich	weiblich
25	23	54	28	22	3

Material

Primäraufgabe – Die Primäraufgabe entsprach im Wesentlichen der im ersten Versuch verwendeten Reaktionsanforderung auf Verkehrszeichenwechsel (siehe Abschnitt 4.2.2). Da die Variation des Verkehrszeichenkontrasts und der Bestimmtheit der jeweils nächsten geforderten Reaktion (Einfachreaktion vs. Wahlreaktion) keine substantiellen bzw. stabilen Interaktionseffekte mit den Zweitaufgaben ergab, wurde im zweiten Versuch auf eine Variation der Primäraufgabe verzichtet. Die Primäraufgabe wurde mit normalem Verkehrszeichenkontrast als vollständig de-

terministischer aber zeitlich zufälliger Wechsel zwischen den Geschwindigkeitswerten 40 und 80 dargeboten (Wechselintervalle 1500 ms, 3000 ms, 4500 ms). Die Ziffer 40 wurde verwendet, um die optische Ähnlichkeit der zuvor verwendeten Ziffer 30 zur Grundform der Zahl 80 zu verringern. Um die Versuchskomplexität zu verringern und die Leistungsdynamik in den Doppelaufgaben eindeutig der Variation der Zweitaufgaben zuordnen zu können, wurde im Unterschied zum ersten Versuch die Primäraufgabe nun so einfach wie möglich gehalten.

Zweitaufgabe Visuelle Suche (visuelle Ablenkung) – Anders als in Versuch 1 sollte nun eine visuelle Zweitaufgabe verwendet werden, die tatsächlich den Einsatz visueller Verarbeitungsressourcen erfordert. Entgegen der bloßen Reizstromunterbrechung im ersten Versuch soll die Aufgabe Problemlösecharakter haben und mit Aufgabenwechselkosten (*Task Switching Costs*) einhergehen. Die Zuwendung zur visuell ablenkenden Zweitaufgabe sollte mit einem ähnlichen Zusatzaufwand einhergehen, wie die Zuwendung zu den übrigen, kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben. Damit wird von vornherein sichergestellt, dass es sich bei den gemessenen Effekten nicht nur um Aufgabenwechselkosten handelt, die bei jedem Wechsel zwischen zwei zu bearbeitenden Aufgaben anfallen (Monsell, 2003). Wenn alle verwendeten Zweitaufgaben mit vergleichbaren Aufgabenwechselkosten verbunden sind, neutralisieren sich diese Kosten. Messeffekte können als Aufgabeneffekte gelten.

Die visuelle Zweitaufgabe ist anhand der Merkmalsintegrationstheorie konstruiert worden (siehe Treisman, 1977; Treisman & Gelade, 1980). Die darin getroffenen Aussagen zur attentiven und präattentiven Reizverarbeitung bilden einen sinnvollen Ausgangspunkt für die Operationalisierung abgestufter Anforderungen an die visuelle Aufmerksamkeit. Treisman und Gelade (1980) postulieren, dass Aufmerksamkeit seriell jeder einzelnen Eigenschaft eines visuellen Reizes zugewiesen werden muss, um den Reiz sicher von anderen Reizen unterscheiden zu können, sobald der visuelle Reiz aus mehr als einer basalen Eigenschaft besteht. Zu diesen grundlegenden Reizeigenschaften gehören *color*, *orientation*, *spatial frequency*, *brightness* sowie *direction of movement*. Diese Merkmalseigenschaften werden ohne Ressourcenaufwand sehr früh und hochautomatisiert auf- und wahrgenommen. Die Wahrnehmung erfolgt präattentiv. Erst in einem zweiten Schritt werden die basalen Reizeigenschaften zu Objekten rekombiniert. Dabei bestimmt der Reizort, welche Reizeigenschaften zu einem Gesamtobjekt geformt werden. Reizorte werden seriell unter Aufbietung von Aufmerksamkeitsressourcen wahrgenommen. Der Wahrnehmungsvorgang erfolgt attentiv. Alle Reizeigenschaften, die sich im selben Fixationspunkt befinden, werden zu einem Gesamtobjekt kombiniert. Die zunächst einzeln stehenden Reizeigenschaften werden durch Zuwendung von Aufmerksamkeit auf den jeweiligen Reizort als zu einem Einzelobjekt zusammengehörig erkannt und zu diesem Einzelobjekt zusammengesetzt.

In diesem Versuch wurde auf das Paradigma der visuellen Suche zurückgegriffen, das Treisman und Gelade (1980) zur Prüfung ihrer Merkmalsintegrationstheorie verwendet haben. Unter 25 zufällig angeordneten Distraktoren, die für die Dauer von vier bis fünf Sekunden auf einem zweiten Bildschirm neben der Primäraufgabe angezeigt wurden, sollte ein definierter Zielreiz entdeckt werden. In der einfachen Variante unterschieden sich die Distraktoren in einem Merkmal vom Zielreiz (*Single Feature Search* – parallele Suche). In der schweren Bedingung mussten zwei Reizmerkmale – Farbe und Form – gleichzeitig berücksichtigt werden, um den Zielreiz sicher identifizieren zu können (*Feature Conjunction Search* – selbst-abbrechende Suche). Dieser Vorgang beansprucht laut Treisman und Gelade (1980) Aufmerksamkeitskapazitäten, wohingegen die einfache Suchbedingungen keine Merkmalsintegration voraussetzt. Hier kann der Zielreiz einzig anhand der Grundfarbe der dargestellten Zeichen typisiert werden. Ähnliche visuelle Zweitaufgaben werden häufig in der Ablenkungsforschung verwendet (z. B. Engström et al., 2005, Mattes, 2003). Die Abbildung 4.9 zeigt die verwendete visuelle Suchaufgabe in ihrer einfachen und schweren Variante.

Zweitaufgabe Räumliche Ortung (kognitive Ablenkung) – Die erste kognitiv ablenkende Zusatzaufgabe des zweiten Versuchs basiert auf den Untersuchungen von Simon und Rudell zur Hemisphärendominanz bei der Reaktion auf auditive verbale Signale. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben als sogenannter *Simon-Effekt* Eingang in die psychologische Forschung gefunden.

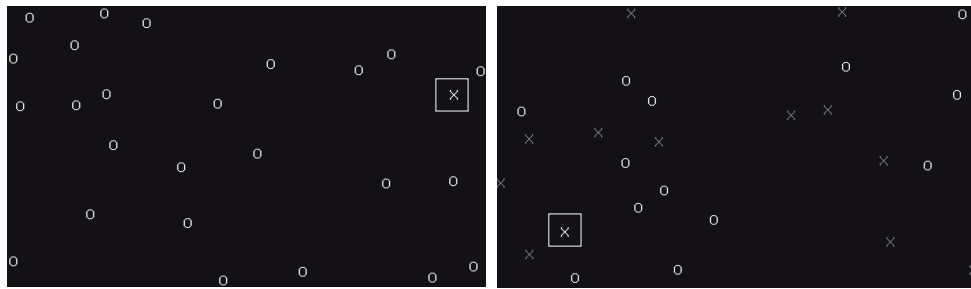


Abbildung 4.9. Visuelle Suchaufgabe (links einfach, rechts schwer; Zielreiz ist jeweils ein gelbes X, das hier zur besseren Erkennbarkeit umrahmt wurde).

Simon und Rudell (1967) deckten auf, dass der Ort einer Reizdarbietung die Reaktion auf diesen Reiz beeinflusst, auch wenn der Darbietungsort irrelevant für die Bearbeitung der Reaktionsaufgabe ist. Bei Simon und Rudell sollten die Probanden immer dann, wenn ihnen das Wort *rechts* akustisch dargeboten wurde, den rechten von zwei vor ihnen angeordneten Tasten so schnell wie möglich drücken. Umgekehrt war die linke Taste zu drücken, wenn das Wort *links* ausgegeben wurde. Die Reizworte wurden über einen Kopfhörer entweder durch die linke oder durch die rechte Hörmuschel ausgegeben. Die *links*- und *rechts*-Ausgaben wurden in allen Kombinationen des Stereobildes dargeboten. Das zentrale Ergebnis dieser Experimente war die Aufdeckung eines sehr stabilen Interaktionseffektes zwischen Reizort und Reizbedeutung. Gab es eine Passung zwischen der zu detektierenden Reizbedeutung und dem Reizort, wurde deutlich schneller reagiert als bei einem Widerspruch zwischen Semantik und Ort. Die Mechanismen hinter diesem Effekt, der in gewisser Weise dem Stroop-Effekt ähnelt (vgl. Stroop, 1935), sind bislang nicht aufgeklärt. Es kann aber als sicher gelten, dass kognitive Mechanismen der aktiven Hemmung automatischer Reaktionen bzw. Reaktionstendenzen eine Rolle spielen.

Für diese Arbeit wurde der experimentelle Zugang von Simon und Rudell (1967) abgewandelt. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, unabhängig von der Semantik des Reizes den Reizort zu bestimmen. In der einfachen Versuchsbedingung wurde über Stereolautsprecher zufällig im Abstand von 1500 ms, 3000 ms oder 4500 ms ein Gong-Ton entweder links oder rechts im Stereobild dargeboten. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, den Darbietungsort zu bestimmen und unmittelbar verbal durch Nennung von *links* oder *rechts* zurückzumelden. In der schweren Bedingung wurde im zufälligen Abstand von 1500 ms, 3000 ms und 4500 ms ebenfalls über Stereolautsprecher die Worte *links* und *rechts* dargeboten. Die Darbietung erfolgte sowohl räumlich-semantisch konsistent als auch widersprüchlich. Auch hier sollten die Probanden so schnell wie möglich zurückmelden, ob das Wort über den linken oder über den rechten Lautsprecher ausgegeben wurde.

Zweitaufgabe Gedächtnissuche (kognitive Ablenkung) – In Anlehnung an das *Item-recognition Paradigm* von Sternberg (1969) wurde eine weitere kognitiv beanspruchende Zweitaufgabe zur Prüfung der Untersuchungshypothese von Versuch 2 entworfen. Dieser Aufgabentyp geht auf Sternbergs Untersuchungen zum sequentiellen Charakter der menschlichen Informationsverarbeitung zurück. Die zugrundeliegende Annahme besagt, dass sich die Reaktionszeit bei Reiz-Reaktions-Anforderungen additiv aus aufeinanderfolgenden funktionalen Stufen der Informationsverarbeitung zusammensetzt. Sternberg testete diese Vermutung, indem er seine Probanden kurze Listen von Elementen, zum Beispiel einstellige Zahlen, lernen ließ (*Positive Set*). Im eigentlichen Versuchsdurchgang wurden den Versuchspersonen nacheinander Teststimuli dargeboten. Diese Teststimuli konnten aus Elementen des zuvor gelernten *Positive Sets* bestehen oder zum *Negative Set* gehören, das ähnliche, aber für die Probanden unbekannte Elemente enthielt. Die Versuchspersonen sollten dann so schnell wie möglich entscheiden, ob der dargebotene Reiz Teil des *Positive Sets* ist. Sternberg (1975) fand in einer Reihe gleichgelagerter Versuche heraus, dass die Reaktionszeit eine lineare Funktion der Größe des *Positive Sets* ist. Mit steigender

Anzahl der eingprägten Elemente vergrößert sich die Reaktionszeit gleichförmig. Die Gesamtreaktionszeit setzt sich nach Sternberg aus den Bearbeitungsstufen *Stimulus Encoding*, *Serial Comparison* (schrittweiser Abgleich des gelernten *Positive Sets* mit dem dargebotenen Teststimulus), *Binary Decision* (Entscheidung über Zugehörigkeit zum *Positive Set*) sowie *Translation & Response Organization* (Vorbereitung der Handlungsantwort) zusammen (Sternberg, 1969).

Der große Nutzwert dieser Gedächtnisanforderung für eine Adaption im Rahmen der vorliegenden Arbeit besteht in ihrer Einfachheit und guten Skalierbarkeit. Bei einer Einzeldurchführung mit nicht zu großen *Positive Sets* ist die Aufgabe ohne Zeitdruck nahezu fehlerfrei zu bearbeiten. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe kann durch die Verringerung oder Erweiterung der *Positive Sets* linear verändert werden (vgl. Sternberg, 1975). Foss und Dowell (1971) verwendeten auditiv dargebotene verbale Stimuli und konnten den additiv linearen Zusammenhang zwischen der Größe der *Positive Sets* und der Reaktionszeit im Wesentlichen bestätigen. Zusätzlich zeigten ihre Ergebnisse, dass Ja-Antworten schneller getroffen wurden als Nein-Antworten. Dafür wurde von den Autoren die Stufe der Auswahl der Handlungsantwort verantwortlich gemacht, ohne dass sie den verantwortlichen Mechanismus detailliert aufklären konnten. Im Unterschied zu den Befunden Sternbergs, der visuelle Stimuli verwendete, benötigten die Probanden bei Foss und Dowell für die Reaktion auf akustisch dargebotene verbale Stimuli signifikant länger (55 ms/Element gegenüber 35-40 ms/Element). Diese Reaktionszeitzunahme ist unabhängig von der Größe der *Positive Sets*. Die Versuchsdaten werden dadurch nicht systematisch verändert.

Wickens, Hyman, Dellinger, Taylor und Meador (1986) haben Gedächtnissuchaufgaben sensu Sternberg näher untersucht, die in klassischen Doppelaufgabensituationen verwendet wurden, um den *Workload* von Piloten zu messen. Der Begriff *Workload* beschreibt den Syndromkomplex im Spannungsfeld von Belastung und Beanspruchung (vgl. Gopher & Donchin, 1986; O'Donnell & Eggemeier, 1986) und ist in den *Human Factors* weit verbreitet. Wickens et al. (1986) analysierten sieben Studien, in denen Gedächtnissuchaufgaben verschiedener Ausprägung (visuelle und auditorische Reize, unterschiedliche Größen der *Positive Sets*) mit Flugzeugführungsaufgaben entweder im Simulator oder während eines Realfluges gepaart wurden, um den Einfluss dieser kognitiven Zusatzanforderung auf die Flugführungsleistung zu untersuchen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass derartige Gedächtnissuchaufgaben geeignet sind, linear gestuft vor allem perzeptiv-kognitiven *Workload* zu induzieren. Aus den Befunden haben Wickens et al. Empfehlungen für die Ausgestaltung von Sternbergschen Gedächtnissuchaufgaben im Anwendungsfeld der Belastungs- und Beanspruchungsforschung abgeleitet. So sollten Verzögerungen bei der Reizaufnahme sowie der bei Reizantwort minimiert werden. Wenn ein visueller Reiz nicht im fovealen Gesichtsfeld positioniert werden kann, sollten stattdessen auditorische Stimuli verwendet werden. Ebenso sollte die Reizantwort unmittelbar abgegeben werden können, entweder indem die Hand bei einer manuellen Antwort bereits auf dem dafür vorgesehenen Bedienelement liegt oder aber die Reizantwort verbal gegeben wird. Ein *Positive Set* sollte nicht für zu viele Versuchsdurchgänge hintereinander verwendet werden. Lerneffekte könnten zu automatisierten Reizantworten führen. *Positive Sets* der Größe 1 sollten nicht verwendet werden. Ebenso besteht bei zu großen Merklisten die Gefahr, dass Elemente vergessen werden. Ideal sind Listen zwischen zwei und vier Elementen. Die verschiedenen großen *Positive Sets* sollten nicht geblockt dargeboten werden. Es sollte so häufig wie möglich zwischen verschiedenen großen Merklisten gewechselt werden, um Lern- und Ermüdungseffekte auszuschließen. Die Stichprobe sollte ausreichend groß sein. Einzelfallstudien erlauben keine zuverlässige Interpretation der Versuchsdaten. Die Primäraufgabe sollte nicht zu schwer sein, da sie andernfalls die Gedächtnissuchaufgabe derart stark überlagern kann, dass diese nicht mehr mit ausreichender diagnostischer Güte durchführbar ist. Die dargebotene Elementesammlung wird üblicherweise so gewählt, dass die Hälfte der dargebotenen Reize zur Gruppe der *Positive Sets* (Ja-Antwort erforderlich) gehört und die andere Hälfte der Gruppe der *Negative Sets* angehört.

Für diesen Versuch wurden Listen von zweisilbigen Städtenamen verwendet, die akustisch über Lautsprecher vor der Versuchsperson ausgegeben wurden. Bei der Herstellung der Aufzeichnung ist darauf geachtet worden, die Intonation und Sprechgeschwindigkeit bei allen Städten in etwa gleich auszulegen. Es wurden drei *Positive Sets* mit zwei, drei und vier Elementen

verwendet, die in der Tabelle 4.12 abgebildet sind. Die entsprechenden *Negative Sets* werden in der Tabellenbeschriftung aufgeführt. Die Liste der *Negative Sets* war für alle drei Schwierigkeitsgrade identisch. Über einen zweiminütigen Trial hinweg wurden in der einfachen Versuchsbedingung 35 und in der mittleren sowie schweren Versuchsbedingung jeweils 36 Städte dargeboten. Der Empfehlung von Wickens et al. (1986) folgend, bestand die Gesamtliste zu annähernd der Hälfte aus Städtenamen der *Positive Sets* (einfach: 16 Nennungen; mittel: 17 Nennungen; schwer: 19 Nennungen) und zur anderen Hälfte aus Elementen der *Negative Sets* (einfach: 19 Nennungen; mittel: 18 Nennungen; schwer: 16 Nennungen). Daraus wird ersichtlich, dass Städte der *Positive Sets* mehrfach dargeboten wurden. Die Darbietungsgeschwindigkeit der Reize betrug nahezu konstant 3.5 Sekunden pro Stadt. Davon entfiel etwa 1 Sekunde auf die Nennung der Stadt und 2.5 Sekunden auf eine Pause bis zur Nennung der nächsten Stadt, die der Versuchsperson für die Reizantwort zur Verfügung stand.

Tabelle 4.12

Zweisilbrige Städtenamen (Positive Sets) der drei Versuchsbedingungen der Gedächtnisaufgabe (Elemente der Negative Sets: Augsburg, Bayreuth, Berlin, Bremen, Chemnitz, Coburg, Cottbus, Darmstadt, Dortmund, Dresden, Duisburg, Frankfurt, Freiburg, Hamburg, Homburg, Leipzig, Marburg, München, Nürnberg, Rostock, Schweinfurt, Stuttgart, Wolfsburg, Würzburg)

Versuchsbedingung		
einfach (2 Elemente)	mittel (3 Elemente)	schwer (4 Elemente)
Wolfsburg	Cottbus	München
Hamburg	Marburg	Duisburg
	Leipzig	Berlin
		Schweinfurt

Anhand von Testdurchgängen mit mehreren Personen wurde sichergestellt, dass alle Zweitaufgaben bei einer Einzelbearbeitung im Rahmen der jeweils zur Verfügung stehenden Zeit fehlerfrei lösbar waren. Somit konnte davon ausgegangen werden, dass die Bearbeitung der Zweitaufgabe allein keine Überbeanspruchung der Versuchsperson darstellte.

Tabellarische Übersicht der Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen

Die Tabelle 4.13 enthält die Kurzbezeichnungen für die einzelnen Versuchsbedingungen des zweiten Versuchs. Die Kurzbezeichnungen beziehen sich allein auf die Zweitaufgaben. Da die Primäraufgabe nicht variiert wurde, ist die Doppelaufgabenbedingung damit hinreichend definiert.

Hypothesen

Die Untersuchungshypothesen für den zweiten Versuch orientieren sich an der allgemeinen Hypothese aus Versuch 1. Die Grundannahme besteht weiterhin darin, dass die Primäraufgabe vornehmlich perzeptive Ressourcen der visuellen Wahrnehmung und motorische Ressourcen der Handlungsantwort in Anspruch nimmt. Kognitive Leistungsvoraussetzungen werden durch sie nur in sehr geringem Maße beansprucht. Daraus folgt, dass in Versuch 2 die Leistungseinbußen in der Primäraufgabe bei gleichzeitiger Bearbeitung einer kognitiv beanspruchenden Zweitaufgabe geringer ausfallen sollten als bei der Paarung mit einer visuell ablenkenden Zweitaufgabe.

- H 1: In denjenigen Doppelaufgabenbedingungen, in denen den Zweitaufgaben unterstellt wird, hauptsächlich visuell ablenkend zu wirken, sind die Reaktionszeiten, Fehlerraten und die Zahl verpasster Reaktionen bei der Primäraufgabe

Tabelle 4.13

Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen. Es handelt sich dabei immer um eine Doppelaufgabenbedingung der Paarung mit der Primäraufgabe

Kurzbezeichnung	Beschreibung
<u>Visuelle Suche</u>	
V1	Einfache visuelle Suche (<i>Single Feature Search</i>)
V2	Schwere visuelle Suche (<i>Feature Conjunction Search</i>)
<u>Räumliche Ortung</u>	
R1	Einfache räumliche Ortung (Gong-Ton)
R2	Schwere räumliche Ortung (Begriffe links/rechts)
<u>Gedächtnissuche</u>	
G1	Einfache Gedächtnissuche (2 Gedächtniselemente)
G2	Mittelschwere Gedächtnissuche (3 Gedächtniselemente)
G3	Schwere Gedächtnissuche (4 Gedächtniselemente)

benbearbeitung größer als bei denjenigen Zweitaufgaben, die als hauptsächlich kognitiv beanspruchend gelten.

- H 1.1: *Reaktionszeiten* – Die Reaktionszeiten auf Verkehrszeichenwechsel sind in der Zweitaufgabenbedingung Visuelle Suche (V1, V2) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Räumliche Ortung (R1, R2) und Gedächtnissuche (G1, G2, G3). Dabei steigen die Reaktionszeiten jeweils mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Zweitaufgabe an.
- H 1.2: *Fehlerrate* – Die Zahl von Reaktionsfehlern ist in der Zweitaufgabenbedingung Visuelle Suche (V1, V2) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Räumliche Ortung (R1, R2) und Gedächtnissuche (G1, G2, G3). Dabei ist die Fehlerhäufigkeit umso größer, je schwerer die Zweitaufgabe ist.
- H 1.3: *Zahl verpasster Reaktionen* – Die Zahl von verpassten Reaktionen ist in der Zweitaufgabenbedingung Visuelle Suche (V1, V2) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Räumliche Ortung (R1, R2) und Gedächtnissuche (G1, G2, G3). Dabei ist deren Anzahl umso größer, je schwerer die Zweitaufgabe ist.

Die Tabelle 4.15 zeigt die Prognose der Doppelaufgabendekremente des zweiten Versuchs auf der Grundlage der in der Tabelle 4.14 dargestellten Beanspruchungsvektoren, orientiert am *Computational Model* von Wickens (2002) (vgl. Seite 24). Der Beanspruchungsvektor der Primäraufgabe entspricht dem Muster der Einfachreaktionsaufgabe mit normalem Verkehrszeichenkontrast (P-E2) aus Versuch 1 mit einem auf allen Ressourcendimensionen reduzierten Schwierigkeitsgrad von 1. Die Aufgabe wurde so ausgelegt, dass sie maximal einfach ist (vgl. Seite 69). Die Beanspruchungsvektoren der Zweitaufgabe Visuelle Suche spiegeln den großen Bedarf von visuellen Ressourcen wider. Außerdem wurde die Gedächtnisanforderung des internen Vorhaltens der Zielstimuli (rotes O, gelbes X) im Beanspruchungsvektor berücksichtigt. Den kognitiv beanspruchenden Zweitaufgaben wurden Beanspruchungsvektoren zugeordnet, die den Bedarf von auditiven und kognitiven Ressourcen würdigen. Obwohl die Städtelisten der Zweitaufgabe Gedächtnissuche nicht stereofonisch dargeboten worden sind, wurde der Ressource *Cognitive Spatial* dennoch der Wert 1 zugebilligt, weil nicht ausgeschlossen werden konnte, dass sich einzelne Versuchspersonen die Städtenamen räumlich anhand ihrer geografischen Lage einprägten. Allen Zweitaufgaben gemein ist die verbale Antwortreaktion. Ein entsprechender Beanspruchungswert wurde bei allen Beanspruchungsvektoren hinterlegt.

Tabelle 4.14

Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 2 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 3 (maximale Beanspruchung) (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)

Aufgabe	Ressource (Schwierigkeitswert)							
	Vf	Va	As	Av	Cs	Cv	Rs	Rv
Primäraufgabe								
	1	0	0	0	0	0	1	0
Zweitaufgaben								
Visuelle Suche								
V1	1	0	0	0	0	1	0	1
V2	3	0	0	0	0	1	0	1
Räumliche Ortung								
R1	0	0	1	0	1	0	0	1
R2	0	0	1	1	3	0	0	1
Gedächtnissuche								
G1	0	0	0	1	1	1	0	1
G2	0	0	0	1	1	2	0	1
G3	0	0	0	1	1	3	0	1

Unabhängige Variablen

Im Unterschied zu Versuch 1 wurde die Primäraufgabe nicht variiert. Aus ihr wurden somit keine unabhängigen Variablen abgeleitet. Variiert wurden dagegen, in Übereinstimmung mit Versuch 1, die Art und Schwere der Zweitaufgaben. Die erste unabhängige Variable war folglich der Zweitaufgabentyp mit den Hauptgruppen visuelle Ablenkung und kognitive Ablenkung. Die visuelle Ablenkung wurde zweigeteilt in die Versuchsbedingungen einfache (V1) und schwere (V2) visuelle Suche. Ähnlich wie beim ersten Versuch wurde auch hier kognitive Ablenkung in zwei Typen zu zwei bzw. drei Schwierigkeitsstufen appliziert. Es musste der Darbietungsort eines neutralen Tons (R1) und eines bedeutungsbehafteten Wortes (R2) identifiziert und zurückgemeldet werden. Weiterhin wurde eine einfache (G1), mittelschwere (G2) und schwere Gedächtnisanforderung (G3) gestellt.

Abhängige Variablen

Als abhängige Variablen wurden in Versuch 2 erneut die Reaktionszeit sowie die Anzahl der falschen und der verpassten Reaktionen in der Primäraufgabe erfasst. Bei allen Zweitaufgaben sind ebenfalls die Reaktions- bzw. Antwortzeiten und die Reaktions- respektive Antwortfehler erhoben worden.

Versuchsdesign

Versuch 2 wurde als vollständiges Within-subject Design mit Messwiederholung durchgeführt. Alle Versuchspersonen bearbeiteten auch hier alle Aufgabenvarianten. Es ergab sich ein 2 + 2 + 3 Design mit 7 Einzeltrials. Für die Primäraufgabe ist zusätzlich die Grundleistung bei der Einzelausführung (Baseline) bestimmt worden.

Tabelle 4.15

Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (kleinster Rang, ** größter Rang) der Doppelaufgaben im Rahmen des Computational Model auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference)*

Aufgabe	DC	CC	TI	Rang
Visuelle Suche				
V1	0.625	1.600	2.225	6
V2**	0.875	1.600	2.475	7
Räumliche Ortung				
R1*	0.625	1.000	1.625	1
R2	1.000	1.200	2.200	4.5
Gedächtnissuche				
G1	0.750	1.200	1.950	2
G2	0.875	1.200	2.075	3
G3	1.000	1.200	2.200	4.5

Versuchsablauf

Der zweite Versuch fand in derselben Laborumgebung statt wie schon der erste Versuch. Die Primäraufgabenapparatur entsprach vollständig der auf Seite 50 geschilderten Realisierung. Zusätzlich wurden links und rechts vom Monitor Lautsprecher für die kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben positioniert. Rechts vom Hauptmonitor für die Primäraufgabe wurde außerdem ein kleiner TFT Zusatzmonitor mit etwa 11 Zoll Bildschirmdiagonale für die Bearbeitung der visuell ablenkenden Suchaufgabe angeordnet.

Die Versuchspersonen wurden begrüßt und mit der Versuchsumgebung vertraut gemacht. Sie erhielten einen kurzen Überblick über die Inhalte und Anforderungen des bevorstehenden Versuchs. Außerdem bekamen sie die Gelegenheit, die Bearbeitung der Primäraufgabe zu üben. Vor der jeweils ersten Durchführung einer Zweitaufgabe konnten die Versuchspersonen, falls gewünscht, die Zweitaufgabe ausprobieren.

Die visuelle Suchaufgabe wurde durch den Versuchsleiter parallel mit dem Beginn der Primäraufgabe gestartet und auf einem zweiten Bildschirm rechts vom Hauptmonitor angezeigt. Unter 25 zufällig verteilten Distraktoren (rote *O* und/oder gelbe *X*) verbarg sich einer der beiden möglichen Zielstimuli, entweder ein rotes *O* oder ein gelbes *X*. Eine Reizkonfiguration wurde zufallsabhängig entweder 4000 *ms* oder 5000 *ms* angezeigt. Die Antwortreaktion des Probanden erfolgte verbal durch unmittelbare Nennung des entdeckten Zielbuchstabens *X* oder *O*. Der Versuchsleiter transformierte diese Antwortreaktion umgehend durch Druck der entsprechenden Antworttaste in einen Datenpunkt der Protokolldatei. Nach der Antwort durch den Probanden wurde nicht sofort zum nächsten Suchbild gewechselt. Der zufällig bestimmte Reizabstand von 4000 *ms* bzw. 5000 *ms* wurde eingehalten, um bei einer schnellen Antwort des Probanden die Zweitaufgabenschwierigkeit nicht durch eine selbstbeschleunigende Darbietung der Stimuli zu erhöhen. Die Antwortgüte wurde den Versuchspersonen mittels *richtig/falsch*-Einblendungen zurückgemeldet.

In der Versuchsbedingung Räumliche Ortung wurde die Darbietung der aufgezeichneten Tonspuren zeitgleich mit der Primäraufgabe durch den Versuchsleiter gestartet. Die Anordnung der Hinweisreize erfolgte zufallsgesteuert so lange, bis der Versuchsleiter mit dem Ende der Primäraufgabe die Wiedergabe der Tonspuren anhielt. Über die zweiminütige Trialdauer hinweg wurden so 43 Gong-Signale (R1) und 43 *links/rechts*-Worte (R2) dargeboten. In Übereinstimmung mit dem Vorgehen von Simon und Rudell (1967) sind die beiden Reizserien in einer für alle Probanden gleichen, zuvor zufällig bestimmten Anordnung präsentiert worden. Parallel zur Aufgabenbearbeitung durch den Probanden registrierte der Versuchsleiter mit Hilfe der schon

im ersten Versuch verwendeten Kodierssoftware sowohl die Dauer bis zur verbalen Rückmeldung der Reizortes als auch die Antwortgüte. Eine Rückmeldung der Antwortfehler erfolgte nicht.

Vor dem Beginn der Versuchsbedingungen der Gedächtnissuche lernten die Probanden das jeweilige *Positive Set*. Dazu spielte der Versuchsleiter die aufgezeichnete Tonspur mit der Städteliste so oft ab, bis die Versuchsperson den Einprägeerfolg bestätigte. Zeitgleich mit dem Start der Primäraufgabe wurde dann die Wiedergabe der Städtelisten aus Elementen des *Positive Sets* und des *Negative Sets* gestartet. Unmittelbar nach jeder genannten Stadt meldete die Versuchsperson durch eine *ja*- oder *nein*-Antwort zurück, ob diese Stadt zur Liste der gelernten Städte gehört. Der Versuchsleiter erfasste die Antwort sofort durch Tastendruck in der Kodierssoftware, die die Antwortgüte und die Antwortzeit in einer Protokolldatei erfasste. Für ausbleibende Antworten wurde in der Kodierssoftware ebenfalls eine Kategorie vorgesehen.

Die Probanden wurden instruiert, dass sie ihr Hauptaugenmerk auf die Bearbeitung der Primäraufgabe richten sollten. Gleichzeitig durften sie die Bearbeitung der Zweitaufgaben nicht vernachlässigen. Die Primäraufgabe wurde erneut durch zuvor zufallsabhängig erstellte INI-Dateien gesteuert. Insgesamt standen 14 dieser INI-Dateien zur Verfügung, die nach einem Zufallsplan den Versuchspersonen und Versuchsbedingungen zugeordnet wurden, so dass sich pro Versuchsperson keine wiederholenden Primäraufgabenabläufe ergaben. Jede Versuchsbedingung wurde auf zwei Minuten Dauer ausgelegt. Im Mittel nahm der gesamte Versuch ca. 30 Minuten in Anspruch. Er war damit deutlich kürzer als Versuch 1. Es bleibt anzumerken, dass analog zu Versuch 1 auch hier an einer zufällig bestimmten Position in der Trialfolge die Baseline für die Primäraufgabe erhoben worden ist.

4.3.3 Ergebnisse

Primäraufgabe

Die Rohdaten der Primäraufgabe sind nach dem auf Seite 51 für den ersten Versuch beschriebenen Vorgehen aufbereitet und ausgewertet worden. Um die Dynamik der Primäraufgabenleistung beurteilen zu können, wurden die mittleren Reaktionszeiten richtiger Reaktionen sowie die Anzahl falscher und verpasster Reaktionen analysiert.

Reaktionszeiten – In der Abbildung 4.10 sind die mittleren Reaktionszeiten richtiger Reaktionen der acht Versuchsbedingungen abgetragen. Der Wert für die Baseline der Primäraufgabe wurde hinzugenommen, um auch hier die absoluten Ausprägungen der übrigen Versuchsbedingungen einordnen zu können.

Die Abbildung 4.10 zeigt sehr deutlich, dass im zweiten Versuch das Reaktionszeitniveau in den beiden Versuchsbedingungen mit visueller Ablenkung (V1, V2) deutlich über dem der kognitiv ablenkenden Zweitaufgabenbedingungen (R1, R2, G1, G2, G3) liegt. Eine detaillierte Auflistung der errechneten Mittelwerte zeigt die Tabelle 4.16. Sie enthält darüber hinaus weitere deskriptivstatistische Kennwerte.

Mit einem Mittelwert von 1032.08 ms verursachte die schwere visuell ablenkende Zweitaufgabe (V2) die mit Abstand größten Reaktionszeiten in der Primäraufgabe. Ebenso benötigte eine Versuchsperson in dieser Versuchsbedingung die über alle Versuchsdurchgänge hinweg längste Reaktionszeit von deutlich mehr als eineinhalb Sekunden ($M = 1797.94$). Den nach Reaktionszeitgröße zweiten Platz nimmt die Versuchsbedingung mit parallel auszuführender einfacher visueller Suche (V1) ein. Hier benötigte ein Proband für die längste Reaktion 1577.00 ms. Im Mittel reagierten die Probanden in der Bedingung V1 nach 738.57 ms. Die Reaktionszeiten in den Bedingungen mit kognitiver Zusatzlast liegen, mit Ausnahme der schweren Variante der räumlichen Ortung (R2), nahezu gleichauf bei etwa 600 ms (Räumliche Ortung, $M = 631.63$ ms; Gedächtnissuche $M = 600.15$ ms). Die einfaktorielle Varianzanalyse weist aufgrund der deutlichen Differenz zwischen den visuellen und den kognitiven Aufgabenpaarungen eine signifikante Wirkung der Zweitaufgabenvariation auf die Reaktionszeiten in der Primäraufgabe aus,

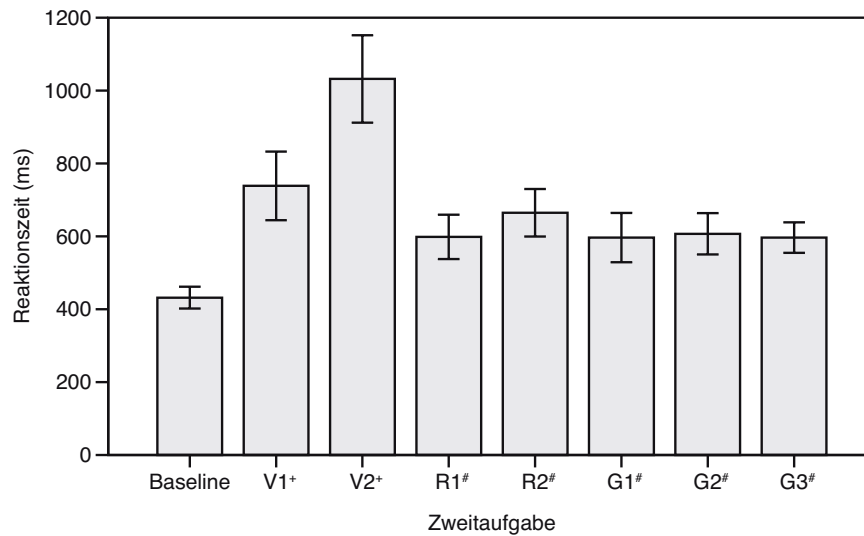


Abbildung 4.10. Mittlere Reaktionszeiten sowie Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

$F(2.197, 52.724) = 41.125, p < .001, \eta^2 = .631$. Die Tabelle A.16 im Anhang A.2.1 listet die wechselseitigen Vergleiche der Mittelwertunterschiede auf.

Tabelle 4.16

Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel der Primäraufgabe in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 25$)

Versuchsbedingung	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>	Rang
Visuelle Suche					
V1	499.95	1577.00	738.57	235.57	6
V2**	607.56	1797.94	1032.08	300.11	7
Räumliche Ortung					
R1	416.74	1181.56	598.46	152.17	3
R2	476.08	1270.20	664.79	163.44	5
Gedächtnissuche					
G1	428.82	1307.30	596.81	168.93	2
G2	396.66	1043.32	607.10	141.54	4
G3*	426.61	919.21	596.54	104.65	1

Für einen weiteren Auswertungsschritt sind die Reaktionszeitwerte der Zweitaufgabentypen Visuelle Suche, Räumliche Ortung und Gedächtnissuche aggregiert worden, um visuelle Wahrnehmung und Kognition gesamthaft einander gegenüberstellen zu können. In der Abbildung 4.11 sind die mittleren Reaktionszeiten dieser Aggregationsstufe getrennt nach Zweitaufgabentyp dargestellt. Der deutlich größere Reaktionszeitbedarf der durch visuell-perzeptive Informationsverarbeitungsprozesse dominierten Versuchsbedingungen (V1, V2) schlägt auch hier durch. Im direkten Vergleich der kognitiven Aufgabengruppen zeigen sich leicht größere Reaktionszeiten bei den Zweitaufgaben der Räumlichen Ortung (R1, R2). Dieser Unterschied ist indessen nicht signifikant (siehe Tabelle A.17 der paarweisen Vergleiche der Mittelwertdifferenzen im Anhang A.2.1). Dennoch bleibt der Einfluss der Variation des Zweitaufgabentyps ausweislich der einfak-

toriellen Varianzanalyse auch hier stark signifikant, $F(1.152, 27.646) = 41.557, p < .001, \eta^2 = .634$.

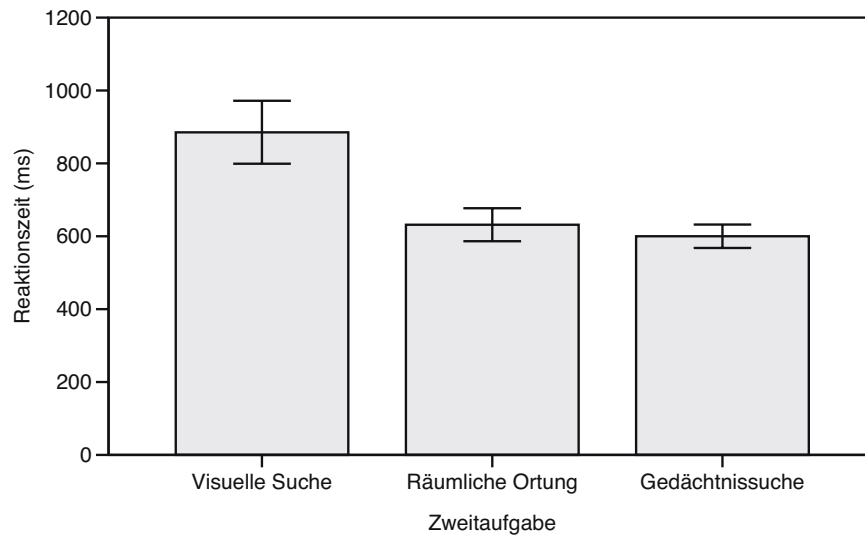


Abbildung 4.11. Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler richtiger Reaktionen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabentyp.

Falsche Reaktionen – In der Tabelle 4.17 sind die über die Versuchspersonen gemittelten Häufigkeiten falscher Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel in der Primäraufgabe getrennt nach Versuchsbedingungen abgetragen. Das Fehleraufkommen bei der Bearbeitung der Primäraufgabe bestätigt im Wesentlichen das bereits bei der Auswertung der Reaktionszeiten gezeichnete Bild. Die häufigsten Reaktionsfehler wurden mit deutlichem Abstand bei der Bearbeitung der schweren visuellen Suchaufgabe (V2) begangen ($M = 3.24$). Die wenigsten Fehler bei der Primäraufgabenbearbeitung wurden durch die gleichzeitige Bearbeitung der kognitiv ablenkenden Gedächtnissuchaufgabe mit dem *Positive Set* der Größe 3 (G3) provoziert ($M = 0.52$). Aggregiert über alle Schwierigkeitsgrade einer Zweitaufgabe zeigten sich die visuellen Suchaufgaben (V1, V2) als klar stärker fehlerverursachend ($V\dots, M = 2.52$) als die kognitiven Zusatzaufgaben, wobei sich die Aufgaben der räumlichen Ortung ($R\dots, M = 1.24$) etwas von denen der Gedächtnissuche ($G\dots, M = 0.85$) abhoben. Der Mittelwertunterschied zwischen der Aufgabengruppe Räumliche Ortung ($R\dots$) und der Gruppe Gedächtnissuche ($G\dots$) ist jedoch nicht signifikant (siehe Tabelle A.19, Anhang A.2.1). Die Kongruenz der Fehlerhäufigkeiten zur Ausprägung der Reaktionszeiten wird durch den F -Test bestätigt. Sowohl auf der Ebene der Einzelversuchsbedingungen, $F(3.448, 82.755) = 9.351, p < .001, \eta^2 = .280$, als auch auf der Aggregationsebene des Zweitaufgabentyps (Visuelle Suche, Räumliche Ortung, Gedächtnissuche), $F(1.440, 34.554) = 12.661, p < .001, \eta^2 = .345$, zeigt sich ein starker Einfluss der Variation der applizierten Zweitaufgabe auf die Anzahl begangener Fehler bei der Reaktion auf die Verkehrszeichenwechsel der Primäraufgabe, wenngleich mit etwas geringeren Effektstärken als bei den Reaktionszeiten. Im Anhang A.2.1 sind in den Tabellen A.18 und A.19 die entsprechenden Paarvergleiche der Mittelwertdifferenzen aufgeführt.

Verpasste Reaktionen – Als drittes abhängiges Maß wurde die Anzahl verpasster Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel automatisch protokolliert und anschließend analysiert. In der Tabelle 4.18 sind die mittleren Häufigkeiten dieser ausbleibenden Reaktionen sowie ihre zentralen deskriptivstatistischen Kennwerte abgetragen. Das Parameterbild entspricht im Grundsatz dem der falschen Reaktionen. Mit deutlichem Abstand wurde in der schweren visuellen Suchbedingung (V2) nicht auf Verkehrszeichenwechsel der Primäraufgabe reagiert ($M = 4.44$). Analog zur Anzahl falscher Reaktionen wurden bei gleichzeitiger Bearbeitung der schweren Gedächtnissuchaufgabe (G3) die wenigsten Reaktionen auf Verkehrszeichenwechsel ausgelassen

Tabelle 4.17

Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl falscher Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 25$)

Versuchsbedingung	min.	max.	M	SD	Rang
Visuelle Suche					
V1	0	6	1.80	2.04	6
V2**	0	9	3.24	2.62	7
Räumliche Ortung					
R1	0	5	1.04	1.21	3
R2	0	5	1.44	1.64	5
Gedächtnissuche					
G1	0	5	0.92	1.19	2
G2	0	9	1.12	1.90	4
G3*	0	3	0.52	0.92	1

($M = .28$). In dieser Versuchsbedingung wurde auf, so die Analyse aller Versuchspersonen, maximal einen Verkehrszeichenwechsel nicht reagiert. Die Mittelwertunterschiede zwischen den Doppelaufgabenbedingungen sind derart deutlich, dass die varianzanalytische Prüfung für einen gerichteten Zusammenhang zwischen der Manipulation der Zweitaufgabe und der Anzahl verpasster Primäraufgabenreaktionen spricht, $F(3.226, 77.420) = 26.092, p < .001, \eta^2 = .521$. Die Aggregation der Zweitaufgaben zu Gruppen der visuellen Ablenkung (V1, V2: $M = 2.82$) sowie der kognitiven Ablenkung durch Räumliche Ortung (R1, R2: $M = 0.84$) und Gedächtnissuche (G1, G2, G3: $M = 0.7$) bestätigt die bereits für die Messgrößen *Reaktionszeit* und *Anzahl falscher Reaktionen* berichtete Abhängigkeit der Reaktionsgüte vom Typus der Zweitaufgabe – visuell vs. kognitiv ablenkend – auch anhand des Parameters *Anzahl verpasster Reaktionen*, $F(1.588, 38.111) = 26.689, p < .001, \eta^2 = .527$.

Tabelle 4.18

Deskriptive Statistik und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Anzahl verpasster Reaktionen auf die Verkehrszeichenwechsel, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 25$)

Versuchsbedingung	min.	max.	M	SD	Rang
Visuelle Suche					
V1	0	5	1.20	1.55	6
V2**	0	11	4.44	3.03	7
Räumliche Ortung					
R1	0	9	.92	1.91	5
R2	0	6	.76	1.39	4
Gedächtnissuche					
G1	0	7	.52	1.42	2
G2	0	3	.60	.76	3
G3*	0	1	.28	.46	1

Zweitaufgaben

Die Tabellen A.22 und A.23 im Anhang A.2.2 enthalten die deskriptiven Statistiken der Antwortzeiten richtiger Antworten sowie der Anzahl falscher Antworten der drei verwendeten Zweitaufgaben. In die Berechnung der Kennwerte der Zweitaufgabenbedingung R1 gingen nur die

Versuchsdaten von 24 Versuchspersonen ein, da die entsprechende Protokolldatei von Versuchsperson 3 nicht lesbar war.

Visuelle Suche – Beide Schwierigkeitsstufen der visuellen Suchaufgabe erforderten sehr lange Zuwendungszeiten. Die Reaktionszeitwerte der Aufgabenstufen V1 und V2 unterscheiden sich stark signifikant und bestätigen aus der Perspektive dieser Zweitaufgabe den Einfluss der Variation der Zweitaufgabenschwierigkeit auf die Zweitaufgabenleistung, $F(1, 24) = 447.631, p < .001, \eta^2 = .949$. Ebenso deutlich sind die Ergebnisunterschiede zwischen den beiden Schwierigkeitsstufen der visuellen Suche in der Anzahl der Antwortfehler und der Anzahl der verpassten Antworten (für die deskriptivstatistische Kennzeichnung der Antwortverpasser siehe Anhang A.2.2, Tabelle A.24). Die Ausprägungen beider experimenteller Variablen sind kausal auf die Variation der Aufgabenschwierigkeit zurückzuführen. Davon zeugen die F -Statistiken mit ihren durchaus hohen Effektstärken: Anzahl von Antwortfehlern, $F(1, 24) = 22.840, p < .001, \eta^2 = .488$; Zahl verpasster Antworten, $F(1, 24) = 29.876, p < .001, \eta^2 = .555$.

Räumliche Ortung – Die Leistungen in den Doppelaufgaben mit kognitiv beanspruchender Lokalisierung des Stimulusortes spiegelt den jeweils applizierten Schwierigkeitsgrad dieser Zweitaufgabe wider. Der Einfluss der Zweitaufgabenschwierigkeit auf die Antwortzeit kann aufgrund des F -Test-Wertes als gesichert gelten, $F(1, 23) = 40.326, p < .001, \eta^2 = .637$. Antwortfehler waren bei der Bearbeitung beider Schwierigkeitsstufen ein seltenes Ereignis (siehe Anhang A.2.2, Tabelle A.23) und ohne funktionale Abhängigkeit von der Variation der Zweitaufgabenschwierigkeit, $F(1, 23) = 1.353, p = .257$.

Gedächtnissuche – Ein stabiler Einfluss der Zweitaufgabenvariation auf das Zustandekommen der Antwortzeit in eben jener Zweitaufgabe zeigt sich auch beim zweiten kognitiv ablenkenden Aufgabentyp der Gedächtnissuche, $F(2, 48) = 2.455, p = .097, \eta^2 = .637$. Die mittleren Antwortzeitunterschiede zwischen den drei Schwierigkeitsstufen sind zwar relativ gering, aber über alle Versuchspersonen hinweg stabil (siehe Anhang A.2.2, Tabelle A.22). Das mittlere Fehleraufkommen lässt einen Unterschied zwischen den Schwierigkeitsstufen vermuten, tatsächlich bleiben sie aber unter dem Niveau der Signifikanz, $F(1.735, 41.651) = 2.994, p = .068$ (siehe Anhang A.2.2, Tabelle A.23). Die mittleren Fehlerzahlen von deutlich kleiner als eins belegen, dass die Aufgabe sicher beherrscht wurde und auch bei der Doppelaufgabenbearbeitung fehlerrobust war.

Vergleich der Dekrementprognose mit den gemessenen Dekrementen

Inwieweit die experimentel ermittelte Interferenz zwischen Primär- und Zweitaufgaben derjenigen durch das *Computational Model* vorausgesagten Interferenz entspricht, lässt sich mit Hilfe der in der Tabelle 4.19 berichteten korrelativen Zusammenhänge zwischen den Versuchsbedingungsreihen der Prognose – der *Total Interference* – und den Rangreihen der abhängigen Variablen beurteilen. Zwischen der prognostizierten und der gemessenen Doppelaufgabeninterferenz besteht ein großer korrelativer Zusammenhang von $r = .685$ bei den Parametern *Reaktionszeit richtiger Reaktionen* und *Anzahl falscher Reaktionen* sowie ein mittlerer Zusammenhang von $r = .487$ bei der *Anzahl verpasster Reaktionen*. Da die miteinander in Beziehung gesetzten Rangreihen jedoch nur aus jeweils 7 Elementen bestehen, erreichen diese Korrelationen nicht das Niveau der Signifikanz. Sie weisen dennoch auf eine gute Passung zwischen Interferenz- bzw. Dekrementvorhersage und empirisch ermitteltem Dekrement hin. Dass die abhängigen Variablen in ähnlicher Weise Ablenkungseffekte erfassen, wird über die sehr großen und durchweg signifikanten Korrelationen zwischen ihren Versuchsbedingungsreihen deutlich. Die Rangreihen der *Reaktionszeit richtiger Reaktionen* und *Anzahl falscher Reaktionen* sind identisch. Somit ergibt sich ein vollständiger Zusammenhang ($r = 1.0$).

Tabelle 4.19

*Korrelationen der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz, operationalisiert über die Reaktionszeiten richtiger Reaktionen sowie die Anzahl falscher und verpasster Reaktionen (** $p < .001$)*

	Reaktionszeit	Reaktionsfehler	Reaktionsverpasser
TI	.685	.685	.487
Reaktionszeit		1.0**	.893**
Reaktionsfehler			.893**

4.3.4 Diskussion

Der zweite Versuch diente der Replikation von Versuch 1. Durch eine Nachschärfung des experimentellen Settings sollte neuerlich untersucht werden, ob sich visuelle Ablenkung anhand von Reaktionszeit- und Reaktionsgütemaßen erfassen und zuverlässig von kognitiver Ablenkung unterscheiden lässt. Dazu wurde das Reaktionsverhalten auf die bekannten deterministischen Verkehrszeichenwechsel bei zusätzlicher Bearbeitung einer visuellen Suchaufgabe und bei gleichzeitiger Bearbeitung kognitiv ablenkender Zweitaufgaben erhoben. Anhand der Ergebnisse kann hypothesenkonform zwischen den Aufgaben der visuellen Ablenkung und den Aufgaben der kognitiven Zusatzlast getrennt werden.

Bewertung der Untersuchungshypothesen

Die Beurteilung der unverändert vom ersten Versuch übernommenen Kernhypothesen zur zweitaufgabentypabhängigen Leistung in den Primäraufgaben kann auf der Grundlage der Messdaten des zweiten Versuchs im Vergleich mit den Erkenntnissen aus Versuch 1 überdacht werden. Generell zeigte sich auch hier eine starke Abhängigkeit der Primäraufgabenleistung (operationalisiert über Reaktionszeit, Reaktionsfehler, Reaktionsverpasser) von der Variation der Zweitaufgabe und dabei insbesondere des Zweitaufgabentyps der Klassen visuell und kognitiv. Sowohl die Reaktionszeiten (Hypothese H 1.1) als auch die Zahl der Reaktionsfehler (Hypothese H 1.2) sowie die Anzahl verpasster Reaktionen (Hypothese H 1.3) waren unter visueller Ablenkung (V1, V2) signifikant größer als unter kognitiver Ablenkung (R1, R2, G1, G2, G3). Die Generalhypothese des zweiten Versuchs (H 1), die besagt, dass die Reaktionszeiten, Reaktionsfehler und Reaktionsverpasser in der Primäraufgabe bei visueller Zusatzlast höher ausfallen als bei kognitiver Zusatzbeanspruchung kann nun angenommen werden. Lediglich die bei den Subhypothesen H 1.1, H 1.2 und H 1.3 mitgeltenden Zusatzannahmen bezogen auf die Leistungseinschränkungen bei ansteigendem Schwierigkeitsgrad müssen relativiert werden. In den Parametern Reaktionszeit, Reaktionsfehler und Reaktionsverpasser bildet sich die ansteigende Schwierigkeit der drei Gedächtnissuchvarianten G1, G2 und G3 nicht ab. Die beiden übrigen Zweitaufgabentypen (V1/V2, R1/R2) zeigen dagegen diesbezüglich eine hypothesenkonforme Leistungsveränderung. Mit steigender Zweitaufgabenschwierigkeit verlängert sich die Reaktionszeit. Die Zahl von Reaktionsfehlern nimmt zu. Lediglich bei der Anzahl verpasster Reaktionen kann in der Zweitaufgabe Räumliche Ortung (R1/R2) der in der Hypothese H 1.3 formulierte Leistungsabfall mit zunehmender Zweitaufgabenschwierigkeit nicht beobachtet werden.

Leistungsdynamik der Zweitaufgaben – Das Leistungsbild der Zweitaufgaben ist uneinheitlich. Während die erzielten Antwort- bzw. Reaktionszeiten der Probanden in den Zweitaufgaben durch die Manipulation des Zweitaufgabenschwierigkeitsgrades signifikant moderiert wurden, blieb die Auswirkung der Zweitaufgabenvariation auf die Fehlerzahl in den kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben Räumliche Ortung (R1, R2) und Gedächtnissuche (G1, G2, G3) ungerichtet und unterhalb statistischer Signifikanz. Bei der Aufgabe Visuelle Suche (V1, V2) indessen ist die Fehlerzahl ein Abbild der Aufgabenschwierigkeit. Dieser Befund weist darauf hin, dass die ab-

solute Aufgabenschwierigkeit der kognitiv beanspruchenden Zusatzaufgaben unter derjenigen der visuellen Zweitaufgaben gelegen hat, sofern man die Zahl der Antwortfehler (getrennt vom Parameter Reaktionszeit) als belastbaren Indikator dafür annimmt und gelten lässt. Bei der Zweitaufgabe Gedächtnissuche muss ergänzt werden, dass hier keineswegs die mutmaßlich schwerste Variante G3 mit den längsten mittleren Antwortzeiten einherging, sondern die mittelschwere Variante G2. Allerdings wurde bereits oben darauf hingewiesen, dass ein mittleres Reaktionszeitdelta von etwa 45 Millisekunden zwar – wie in diesem Fall – von statistischer Relevanz sein kann, eine realitätsorientierte Interpretation widerspricht jedoch der praktischen Relevanz dieses Unterschieds. Wird diese Position eingenommen, bildet sich trotz teilweise belastbarer statistischer Aussagen kein faktischer Unterschied zwischen den drei Stufen der Gedächtnissuche G1, G2 und G3 ab, und zwar sowohl hinsichtlich der Reaktionszeiten als auch hinsichtlich der Fehlerrate dieser Zweitaufgabe. Entgegen der Intention bei der Aufgabenkonstruktion verkörpern die Stufen dieser Zweitaufgabe keine unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade.

Passung zwischen Dekrementprognose und gemessenen Dekrementen

Wie vom *Computational Model* vorhergesagt, traten zwischen der Primäraufgabe und den beiden Teilaufgaben der visuellen Suche die größten Interferenzen auf. Innerhalb der Gruppe der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben ergab sich jedoch keine zufriedenstellende Passung zwischen Modell und Empirie. Auch hier kann nicht abschließend entschieden werden, ob die Parametrierung des Modells Schwächen aufweist oder aber das *Computational Model* nicht valide für den beschriebenen Anwendungsfall ist. Das Problem der angemessenen Befüllung des Modells mit den passenden Beanspruchungswerten wurde von Wickens (2002) selbst benannt. Die konkreten Modellwerte sind seiner Ansicht nach äußerst aufgabenspezifisch und sie werden offenbar von Prozessen der Automatisierung, das heißt durch Übung moderiert. Nicht zuletzt sollte die Zuweisung der Beanspruchungswerte plausibel belegt werden, so Wickens (2002). Diese Forderung lässt sich streng genommen nur experimentell erfüllen. Die Nützlichkeit des Modells ginge damit aber verloren. Eine Grundforderung von Sarno und Wickens (1995) an derartige Berechnungsmodelle, wonach die Modellwerte sehr einfach zuzuweisen sein sollten (*ease of user coding*), wäre nicht mehr erfüllt. Eine abschließende Beurteilung des *Computational Model of Task Interference* kann erst am Ende dieser Arbeit erfolgen.

Interpretation der Befunde und Schlussfolgerungen

Zwar konnte im zweiten Versuch eine Trennlinie zwischen visuell und kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben gezogen werden. Einige Aspekte dieses Versuchs sollen dennoch einer kritischen Betrachtung unterzogen werden.

Beziehung zwischen Aufgabenschwierigkeit und Ablenkungsqualität – Am Beispiel der Reaktionszeiten richtiger Reaktionen der Versuche 1 und 2 (vgl. Abbildung 4.4, S. 53 und Abbildung 4.11, S. 79) wird deutlich, dass sich das Schwierigkeitsniveau der visuell und kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben beider Versuche unterscheidet. Insbesondere die mittleren Reaktionszeiten der dominant kognitiven Zweitaufgaben liegen im zweiten Versuch unter 700 ms, wohingegen sie im ersten Versuch im Mittel ungefähr 1000 ms erreichten. Lässt man die Reaktionszeit als Indikator der Aufgabenschwierigkeit gelten, waren die kognitiven Zweitaufgaben in Versuch 2 in der Tat einfacher als in Versuch 1. Die mittleren Reaktionszeiten der visuellen Zweitaufgaben haben sich im zweiten Versuch um ca. 100 ms gegenüber denen des ersten Versuchs erhöht. Eine analoge Verschiebung der Datenausprägung zwischen den Aufgabentypen des ersten und zweiten Versuchs zeigt sich auch bei der Anzahl falscher Reaktionen und der Anzahl verpasster Reaktionen. Es stellt sich somit die Frage, ob die gemessenen Unterschiede zwischen den visuellen und kognitiven Zweitaufgabentypen tatsächlich qualitativer Natur sind oder lediglich ein quantitatives Abbild der Aufgabenschwierigkeit darstellen. Diese Frage lässt sich nur mit Hilfe

einer strukturell verschiedenen Primäraufgabe beantworten. Dazu soll der dritte Versuch dienen, der weiter unten beschrieben wird.

Eignung der visuell ablenkenden Zweitaufgabe Visuelle Suche – Die grundsätzliche Tauglichkeit der verwendeten visuellen Suchaufgabe soll an dieser Stelle nicht in Frage gestellt werden. Insbesondere ihre einfache Ausprägung V1 kann in der Tat als nahezu ausschließlich visuell ablenkend gelten. Bereits nach sehr kurzer Zeit wurde hier allen Probanden bewusst, dass sich der *Target* durch die Farbe der dargestellten Zeichen selbst benennt. Ausschließlich gelbe Zeichen weisen auf den Zielreiz gelbes X hin. Ausschließlich rote Zeichen verraten den Zielreiz rotes O. Die Aufgabe für die Probanden bestand folglich einzig darin, den Blick von der Primäraufgabe ab- und dem Zweitmonitor der Suchaufgabe zuzuwenden, um die Zeichenfarbe zu erkennen. Dennoch führte diese sehr einfache Aufgabe zu den im Mittel zweitgrößten Reaktionszeiten (vgl. Abbildung 4.10, S. 78) und unterschied sich bis auf die Aufgabe R2 signifikant von allen Zweitaufgaben (vgl. Tabelle A.16, Anhang A.2.1).

Dennoch besitzen beide Aufgabenausprägungen einfach (V1) und schwer (V2) eine kognitive Komponente, auf die kritisch verwiesen werden muss. Die visuelle Suchaufgabe erfordert in beiden Fällen die mentale Aufrechterhaltung der Zielreize, das heißt das explizite Wissen um die *Targets* gelbes X und rotes O. Ohne die jederzeitige Verfügbarkeit dieses Wissens kann die Zweitaufgabe nicht erfolgreich bearbeitet werden. Ob dieser kognitive Anteil mit dem Wert 1 im *Computational Model* (vgl. Tabelle 4.14, S. 75) adäquat gewürdigt wurde, kann nicht abschließend beurteilt werden.

Besonderheiten der kognitiv ablenkenden Zweitaufgabe Räumliche Ortung – Die einfache Ausprägung der Zweitaufgabe Räumliche Ortung R1 wurde den kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben zugeordnet. Streng genommen handelt es sich bei dieser Aufgabe aber eher um eine Anforderung an den Wahrnehmungsapparat des Menschen. Der Darbietungsort des Gong-Tons sollte bestimmt und zurückgemeldet werden. Bei flüchtiger Betrachtung hebt sich diese Aufgabe damit nicht wesentlich von der einfachen visuellen Suche (V1) ab. Im *Computational Model* wurde diese Tatsache berücksichtigt (Tabelle 4.14, S. 75). Das absolute Ausmaß der Inanspruchnahme von Informationsverarbeitungsressourcen entspricht der einfachen visuellen Suche (V1), wenngleich mit einem abweichenden Beanspruchungsprofil (Inanspruchnahme der auditorisch-räumlichen anstatt der visuell-fovealen Ressource). In den Folgeversuchen sollte dennoch auf diese Variante der Zweitaufgabe im Portfolio der kognitiv ablenkenden Aufgaben verzichtet werden.

Besonderheiten der kognitiv ablenkenden Zweitaufgabe Gedächtnissuche – Das sehr homogene Messwertbild der drei Schwierigkeitsstufen der Zweitaufgabe Gedächtnissuche (G1, G2, G3) überrascht, weil es dem Sternberg-Paradigma widerspricht (vgl. Sternberg, 1975). Offenbar beförderten bestimmte Eigenschaften des Reizmaterials den Gedächtnisabruf. Eine mögliche Erklärung könnte darin bestehen, dass die verwendeten Städtenamen einen sehr großen Anteil gedächtnisfördernder Kontextinformation mitführen. Jede Stadt lässt sich einem konkreten geografischen Punkt innerhalb Deutschlands zuordnen. Die Probanden wären nicht gezwungen, die Städteliste im Gedächtnis abzulegen und von dort abzurufen, sondern sie könnten sinnbehaftete Punkte auf einer mentalen Landkarte markieren. Für den schnellen Zugriff auf diese Punkte ist es dann möglicherweise unerheblich, ob es sich um zwei, drei oder vier dieser Punkte handelt, sofern sie räumlich ausreichend gut von den Elementen der *Negative Sets* differenzierbar sind oder zu einem *Chunk* einer Städtekonfiguration zusammengefasst werden können. In gewisser Weise kann dieser Mechanismus in Anlogie zu den Untersuchungen von Chase und Simon (1973) zur Reproduktionsfähigkeit plausibler Figurstellungen durch geübte Schachspieler aufgefasst werden. Einer experimentellen Kontrolle wurde diese verdeckte Gedächtnisstrategie nicht unterzogen. Ebenso wäre denkbar, dass von den Probanden implizite Strategien angewendet wurden, die sich mit dem Begriff der *Verfügbarkeitsheuristik* von Goldstein und Gigerenzer (2002) umschreiben lassen. Möglicherweise gelang den Versuchsteilnehmern der Gedächtnisabruf der Städtenamen vornehmlich aufgrund der Salienz von ihnen vertrauten Städten. Bei der Auswahl der Städte ist gleichwohl darauf geachtet worden, nicht nur gemeinhin bekannte Großstädte in die Merklisten aufzunehmen. Trotz dieser Anmerkungen wird der überwiegend kognitive Charakter dieses

Zweitaufgabentyps nicht angezweifelt. In Folgeversuchen kann aber auf eine Ausdifferenzierung unterschiedlicher Schwierigkeitsstufen dieser Aufgabe verzichtet werden.

Zusammenfassung

Im zweiten Versuch zur Erfassung visueller Ablenkung anhand von Einfachreaktionen auf Verkehrszeichenwechsel konnte die in der Hypothese H 1 explizierte Beziehung zwischen visuell und kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben für die verwendete Aufgabenkonstellation bestätigt werden. In den weiteren Versuchen soll geprüft werden, ob diese Erkenntnisse im Sinne der zentralen Hypothese dieser Arbeit generalisiert werden können. Dazu wird eine Primäraufgabe verwendet, die nicht dem bislang genutzten Reiz-Reaktions-Paradigma folgt, um eine funktionale Vermischung der Ergebnisse zu vermeiden; verschiedene Ablenkungsqualitäten sollen sich differenziert in verschiedenen methodischen Zugängen niederschlagen. Die Wahl der Zweitaufgaben orientiert sich weiterhin an den Erkenntnissen aus den Versuchen 1 und 2 zur visuellen Ablenkung.

4.4 Versuch 3 – Erfassung kognitiver Ablenkung

4.4.1 Einführung

Nachdem in den Versuchen 1 und 2 visuelle Ablenkungseffekte und ihre zuverlässige Erfassung eingehender untersucht wurden, gilt es nun, kognitive Ablenkung dagegen abzugrenzen. In Übereinstimmung mit den Thesen der allgemeinen Fragestellung dieser Arbeit (siehe Abschnitt 3) soll kognitive Ablenkung auf der Navigationsebene operationalisiert werden. Auch in dieser Untersuchung soll keine komplexe Verkehrssituation nachgebildet werden, sondern ein für eine Navigationsanforderung möglichst idealtypischer Verkehrsausschnitt isoliert und auf seinen Anforderungskern reduziert werden. Verwey (2000) hat verschiedene Straßen- bzw. Verkehrsabschnitte auf ihren Einfluss auf die Doppelaufgabenleistung während der Fahrt untersucht, unter anderem eine einfache Geradeausfahrt innerhalb und außerhalb der Stadt, das Links- und Rechtsabbiegen an unregelmäßigen Kreuzungen, eine Kurven- und Landstraßenfahrt sowie das Durchfahren eines Kreisverkehrs. In seinen Befunden gehörte der Kreisverkehr zur Gruppe derjenigen Verkehrssituationen mit sehr hoher visueller Beanspruchung und zur Gruppe mit großem Einfluss auf mentalen *Workload*. Bereits in einer früheren Untersuchung zum Einfluss der Verkehrssituation auf das Beanspruchungserleben der Fahrer ließ Verwey (1993) seine Probanden einen Kreisverkehr durchfahren. Burns (1998) nahm in seinen Fragebogen zur Analyse von Problemen bei der Wegführung ein *Item* auf, das nach der Häufigkeit des Verpassens einer Kreisverkehrausfahrt fragt (*Passed the correct exit off roundabout*). Das Durchfahren eines Kreisverkehrs stellt eine Verkehrssituation dar, die ebenso mental beanspruchend wie versuchsökonomisch effizient ist. Sie verdichtet mehrere Navigationsentscheidungen auf einen eng umgrenzten Straßenausschnitt.

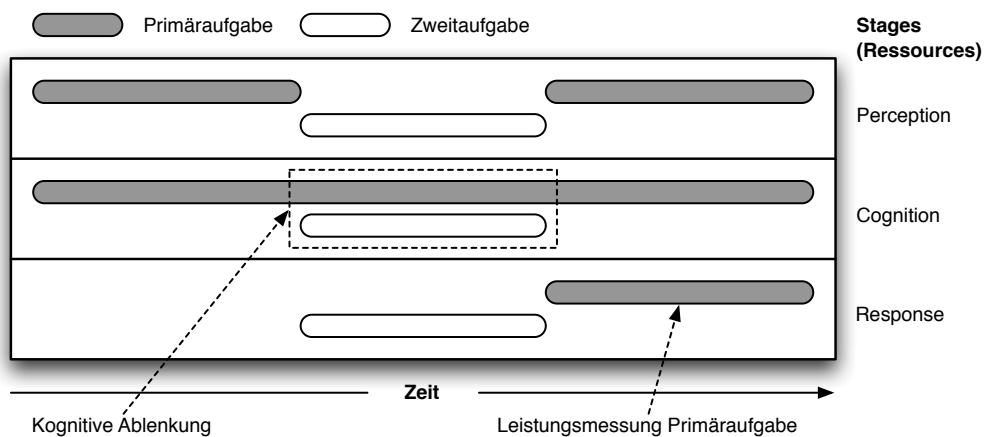


Abbildung 4.12. Zeitliche Darstellung der Ressourcenbeanspruchung bei der Bearbeitung der Primär- und Zweitaufgabe in Versuch 3.

Die experimentelle Gestaltung des dritten Versuchs folgt der Arbeitshypothese, dass kognitive Ablenkung disjunkt von visueller Ablenkung gemessen werden kann, wenn die Messaufgabe auf der Zeitachse von jeglichen Verhaltensanteilen der Wahrnehmung und der Handlungsantwort der Zweitaufgabe befreit wird. In diesem Fall sollten ausgewählte Leistungsmaße kognitive Interferenzen zuverlässig sensieren und sich dem entgegen bei einer visuellen Zusatzbeanspruchung bzw. Ablenkung ohne Dynamik zeigen. Diese Entkopplung von Wahrnehmung und Handlungsantwort beider Aufgaben soll in der vorliegenden Arbeit durch eine sequentielle Taktung der Primär- und der Zweitaufgabe erreicht werden. Damit wird eine wesentliche Forderung von Knowles (1963), Rolfe (1971) sowie Odgen et al. (1979) berücksichtigt: Soll mentale Beanspruchung erfasst werden, sollten Primär- und Zweitaufgaben hinsichtlich Wahrnehmung und Motorik nicht miteinander interferieren. Beide Aufgaben sollten diskrete Reizinputs und voneinander unabhängige Antwortanforderungen aufweisen. Auch Färber (1987) betont, dass Mes-

sungen mentaler Kapazitäten voraussetzen, dass auf sensorischer Ebene keine Interferenzen zwischen Primär- und Zweitaufgabe auftreten. Renner (1995) bezieht sich ebenfalls auf Odgen et al. (1979) und betont, dass zur Messung kognitiver Belastungseffekte nur Aufgaben verwendet werden sollten, die keine unmittelbare Handlungsantwort – *immediate response requirements* – erfordern, sondern eine spätere Beantwortung zulassen. Ein ähnliches Vorgehen wählten Hancock, Lesch und Simmons (2003). Ihre Probandenprägten sich vor einer Versuchsfahrt eine siebenstellige Telefonnummer ein. Es zeigte sich ein deutlicher Abfall der Reproduktionsleistung der Telefonnummer nach dem Ende der Fahrt, wenn die Probanden zwischenzeitlich während der Fahrt abgelenkt wurden. Die Abbildung 4.12 verdeutlicht die Idee schematisch.

4.4.2 Methode

Stichprobe

Der dritte Versuch wurde von insgesamt 40 Versuchspersonen bestritten. Die Probanden entstammten auch hier ausschließlich aus der Belegschaft der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG. Die freiwillige Mitwirkung ist nicht entlohnt worden. Der Versuch bestand aus zwei Teilen, denen die gleiche Anzahl von Versuchspersonen zugeordnet wurde. Im Vorgriff auf die Ergebnisschilderung soll bereits an dieser Stelle erwähnt werden, dass eine Versuchsperson vollständig von der Auswertung ausgeschlossen werden musste, da ihr Fehlerbild darauf hindeutete, dass sie das Versuchsprinzip nicht hinreichend verstanden hatte. Die Tabelle 4.20 weist demzufolge für den ersten Versuchsteil nur 19 Versuchspersonen auf. Es ist darauf verzichtet worden, diese numerische Versuchspersonenlücke im Nachgang durch eine Versuchswiederholung mit einer weiteren Versuchsperson aufzufüllen.

Tabelle 4.20
Stichprobeneigenschaften des dritten Versuchs

	N	Alter			Geschlecht	
		min.	max.	Mdn	männlich	weiblich
Versuchsteil 1 (Zahlen)	19	18	39	24	17	2
Versuchsteil 2 (Symbole)	20	22	56	25	16	4

Material

Primäraufgabe – Um die Erkenntnisse zu wahrnehmungsbezogenen Ablenkungseffekten aus den beiden vorangegangenen Versuchen konkurrenzvalidieren zu können, sollte in diesem Versuch sozusagen spiegelbildlich zu den Versuchen 1 und 2 vorgegangen werden. In diesen Versuch sollte die Primäraufgabe im Kern kognitiv beanspruchend sein. Ihre perzeptiven bzw. visuellen Anteile sollten während der Phase der Doppelaufgabenbearbeitung zu vernachlässigen sein. Ähnlich wie die zuvor verwendete Reaktion auf Verkehrszeichenwechsel sollte auch diese Primäraufgabe ein Mindestmaß an Augenscheinvalidität für ein Kraftfahrzeugführungsverhalten im Straßenverkehr aufweisen. Wie eingangs erwähnt wurde, sind im realen Straßenverkehr kognitive Verarbeitungsprozesse vor allem kennzeichnend für die Navigationsebene des Fahrzeugführungsverhaltens. Folglich wurde die Primäraufgabe als Navigationsaufgabe konzeptionalisiert, deren Wahrnehmungs- und Motorikanteile möglichst gering ausfallen sollten. Die Primäraufgabe wurde in der Programmiersprache C# für die .Net-Laufzeitumgebung des Betriebssystems Windows XP realisiert. Sie ist in der Abbildung 4.13 dargestellt.

In der aus den Versuchen 1 und 2 bekannten sehr vereinfachten Verkehrssituation wurde für die Dauer von 8000 ms in der Mitte der stilisierten Straße ein Verkehrszeichen eingeblendet,

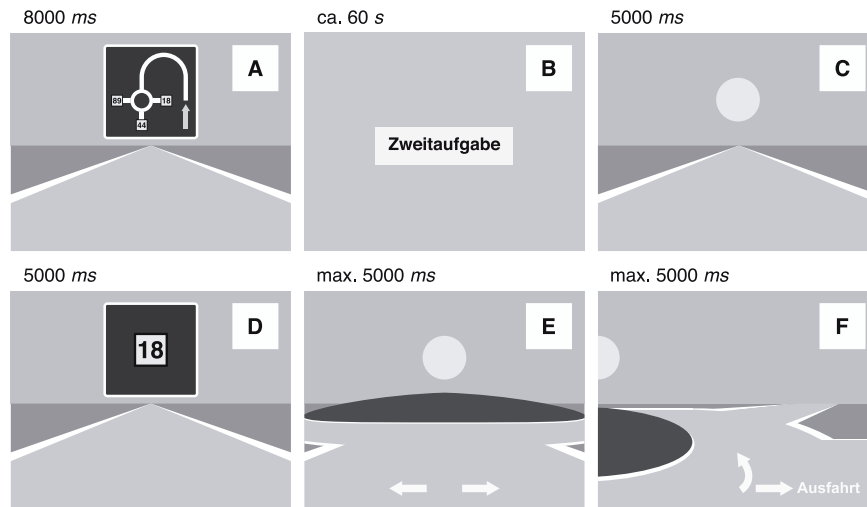


Abbildung 4.13. Abschnitte A bis F der Primäraufgabe und ihre Bearbeitungsdauer.

das einen Kreisverkehr ankündigt, der auf eine 180 Grad-Kurve folgt (A). Der Kreisverkehr bestand aus einer definierten Anzahl von Ausfahrten, die jeweils eindeutig beschriftet waren. Die Versuchspersonen prägten sich während der Anzeigedauer das Verkehrszeichen bzw. die Konstellation des Kreisverkehrs ein. Anschließend wurde die Primäraufgabe automatisch für ca. 60 Sekunden pausiert (B). In dieser Zeit bearbeitete die Versuchsperson die Zweitaufgabe. Unmittelbar nach der Zweitaufgabenbearbeitung wurde die Primäraufgabe mit der Anzeige der Verkehrssituation fortgesetzt, und zwar mit der Darstellung der Straße, die zum Kreisverkehr führt (C). Dieser Primäraufgabenabschnitt wurde für 5000 ms angezeigt und erforderte keine Aktivität des Probanden. Je nach Versuchsbedingung (siehe unten) ist danach für eine Dauer von 5000 ms ein weiteres Verkehrszeichen mit der anzusteuernenden Zielausfahrt angezeigt worden (D) oder es wurde der Verkehrssituationsausschnitt mit der ersten Navigationsanforderung, die Einfahrt in den Kreisverkehr (E), dargeboten. Für die nun folgenden Navigationsschritte in und durch den Kreisverkehr hatten die Versuchspersonen jeweils maximal 5000 ms Zeit. Wurde innerhalb dieser Zeitspanne keine Navigationsentscheidung getroffen, galt diese Entscheidungssituation als verpasst. Die Experimentalsoftware sprang automatisch weiter zum nächsten Kreisverkehrssektor. Die Aufgabe des Versuchsteilnehmers bestand also darin, richtig in den Kreisverkehr einzufahren, durch den Kreisverkehr zu navigieren und den Kreisverkehr an der Zielausfahrt zu verlassen. Jede der Ausfahrten wurde mit dem Wort *Ausfahrt* markiert, um deutlich auf die zu fallende Navigationsentscheidung hinzuweisen. Eine ähnliche mentale Navigationsaufgabe verwendeten Liang und Lee (2010), um kognitive Ablenkung anzubringen. Ihre Versuchspersonen sollten eine verbal-akustisch beschriebenen Bewegungsfolge einer Person auf einer zuvor gelernten mental vorgehaltenen Karte nachvollziehen und am Ende die Ausrichtung der Person auf dieser Karte benennen.

Für die Navigationsanforderung dieser Arbeit wurden die Pfeiltasten \uparrow , \leftarrow und \rightarrow der PC-Tastatur verwendet. Der Kreisverkehr bestand aus acht gleich großen Segmenten zu je 45° . Jeder Tastendruck entsprach einem schrittweisen Sprung von einem Kreisverkehrsegment zum nächsten. Bei der Navigation durch den Kreisverkehr handelte es sich somit nicht um einen klassischen Regelvorgang der Stabilisierung oder Bahnführung, sondern um eine rein singuläre und in ihrer Auswirkung digitale Richtungsentscheidung, entweder im Kreisverkehr zu verbleiben (Tastendruck \uparrow) oder auszufahren (Tastendruck \rightarrow). Lediglich im Abschnitt E (Einfahrt in den Kreisverkehr) konnte die Taste \leftarrow betätigt werden. Da eine Einfahrt in den Kreisverkehr entgegen der vorgeschriebenen Fahrtrichtung unzulässig ist, galt eine solche Navigationsentscheidung unmittelbar als Fehler. Die zu durchfahrende Verkehrssituation war nicht dynamisch bzw. lebendig, sondern eine Folge von Standbildern, zwischen denen gesprungen wurde.

Die Primäraufgabe wurde in drei Schwierigkeitsgraden durchgeführt. In der einfachen Bedingung wurde zwar die maximal mögliche Anzahl von sieben Kreisverkehrsausfahrten dargeboten, da aber zeitgleich mit der Anzeige des einzuprägenden Kreisverkehrsschildes die Zielausfahrt angezeigt wurde, musste nicht die gesamte Kreisverkehrskonstellation memoriert werden. Das Einprägen der Ausfahrtnummer (erste bis siebte Ausfahrt) genügte. Der in Abbildung 4.13 mit D benannte Primäraufgabenschritt entfiel. In der mittleren und schweren Variante wurde die Zielausfahrt nach der Bearbeitung der Zweitaufgabe bekannt gegeben (D). Die Gedächtnisanforderung an die Versuchspersonen war dadurch, so die Behauptung, ungleich größer. Bei der mittelschweren Primäraufgabenvariante mussten Kreisverkehre mit drei, in der schweren Variante mit fünf Ausfahrten im Gedächtnis aufrecht erhalten werden.

Neben der Variation der Primäraufgabenschwierigkeit ist die Beschriftung der Kreisverkehrsausfahrten auf den Verkehrszeichen variiert worden. In der Verwendung von Zahlen in Versuchsteil 1 und Symbolen in Teil 2 spiegelt sich Baddeleys (1986) Architekturannahme des Arbeitsgedächtnisses wider (vgl. Baddeley, 1990). Durch die Verwendung von Zahlen sollte die Komponente *Phonological Loop* im Besonderen gefordert werden. Die Verwendung von Symbolen zielte hingegen auf die verstärkte Aktivierung des *Visual Spatial Scratch Pads* ab. Diese direkte Zuordnung der Art des Reizmaterials zur unterstellten Verarbeitungskomponente des Arbeitsgedächtnisses erfolgte rein heuristisch. Interne Reiztransformationen oder Umkodierungen der Reizqualität wurden nicht näher analysiert oder experimentell kontrolliert. Die Abbildung 4.14 fasst die Primäraufgabenvarianten zusammen.

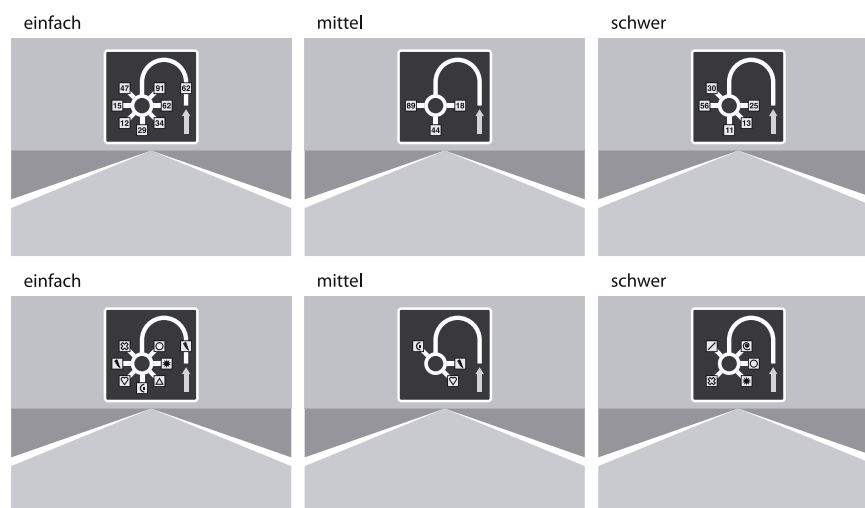


Abbildung 4.14. Beispiele der Varianten der Primäraufgabe und ihre Schwierigkeitsgrade (obere Reihe Zahlen, untere Reihe Symbole).

Zweitaufgabe Visuelle Suche (visuelle Ablenkung) – Die Auswahl der visuell, aber auch der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben orientierte sich an den Versuchen 1 und 2. Insbesondere die dabei gesammelten Erkenntnisse zum Schwierigkeitsgrad der einzelnen Aufgaben flossen in die Planung des dritten Versuchs ein. Aus dem Portfolio der aus den Versuchen zur visuellen Ablenkung bekannten Aufgaben sind nun nur noch diejenigen verwendet worden, deren Beanspruchungsgrade in den erwünschten Korridor der Inanspruchnahme von Leistungsvoraussetzungen fallen. Sowohl Decken- als auch Bodeneffekte aufgrund von Über- bzw. Unterbeanspruchung sollten in Versuch 3 vermieden werden. Auf die Wahl neuer Zweitaufgaben ist verzichtet worden, um die Ergebnisse dieses Versuchs direkt mit den vorangegangenen vergleichen zu können. Für die Prüfung visueller Ablenkungseffekte wurde die Visuelle Suchaufgabe aus Versuch 1 (siehe Abschnitt 4.3.2, Seite 70) unverändert in beiden Schwierigkeitsstufen für den vorliegenden Versuch übernommen.

Zweitaufgabe Zählen (kognitive Ablenkung) – Die kognitiv beanspruchenden Zweitaufgaben entstammten sowohl aus dem ersten wie auch aus dem zweiten Versuch. Die auf Seite 43 im Abschnitt 4.2.2 detailliert begründete Aufgabe des Zählens kam in ihrer einfachen Variante zur Anwendung. Es galt auch hier, über die Dauer der Versuchsbedingung in Zweierschritten vorwärts zu zählen. Ausgangspunkt waren wiederum die dreistelligen Zahlen 672, 736 und 701.

Zweitaufgabe Logisches Schließen (kognitive Ablenkung) – Der ebenfalls aus dem ersten Versuch bekannte Schlussfolgerungstest (siehe Abschnitt 4.2.2, Seite 43) wurde in seiner einfachen Variante verwendet. Die Applikation dieser Aufgabe entsprach in allen Details der Durchführung in Versuch 1, mit der Einschränkung, dass sich die Durchführungsdauer von 2 Minuten auf 60 Sekunden verkürzte.

Zweitaufgabe Räumliche Ortung (kognitive Ablenkung) – Die Gruppe der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben wurde weiterhin um die schwere Variante der Aufgabe Räumliche Ortung aus dem Abschnitt 4.3.2 auf der Seite 70 ergänzt. Über die 60-sekündige Dauer eines Versuchsdurchgangs wurden den Versuchspersonen auch hier zufällig im Abstand von 1500 ms, 3000 ms und 4500 ms die Worte *links* oder *rechts* in allen Kombinationsmöglichkeiten entweder über den linken oder über den rechten der verwendeten Stereolautsprecher dargeboten. Die Versuchsperson meldete verbal zurück, von wo der Begriff kam.

Zweitaufgabe Gedächtnissuche (kognitive Ablenkung) – Schließlich wurde die mittelschwere Gedächtnissuchaufgabe aus Versuch 2 mit den im Abschnitt 4.3.2 auf der Seite 71 beschriebenen *Positive* und *Negative Sets* verwendet, um eine weitere Doppelaufgabensituation mit zusätzlicher kognitiver Last herzustellen.

Tabellarische Übersicht der Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen

In der Tabelle 4.21 sind die Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen des dritten Versuchs abgetragen, auf die im Weiteren aus Gründen der Sparsamkeit zurückgegriffen werden wird.

Tabelle 4.21
Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen von Versuch 3

Kurzbezeichnung	Beschreibung
<u>Primäraufgaben</u>	
<u>Zahlen</u>	
P-Z-B7	Bekannte Zielausfahrt, 7 Kreisverkehrausfahrten
P-Z-U3	Unbekannte Zielausfahrt, 3 Kreisverkehrausfahrten
P-Z-U5	Unbekannte Zielausfahrt, 5 Kreisverkehrausfahrten
<u>Symbole</u>	
P-S-B7	Bekannte Zielausfahrt, 7 Kreisverkehrausfahrten
P-S-U3	Unbekannte Zielausfahrt, 3 Kreisverkehrausfahrten
P-S-U5	Unbekannte Zielausfahrt, 5 Kreisverkehrausfahrten
<u>Zweitaufgaben</u>	
<u>Visuelle Suche</u>	
Z-V1	Einfache visuelle Suche (<i>Single Feature Search</i>)
Z-V2	Schwere visuelle Suche (<i>Feature Conjunction Search</i>)
<u>Zählen</u>	
Z-Z	Vorwärtszählen in Zweierschritten
<u>Logisches Schließen</u>	
Z-L	Logisches Schließen einfach
<u>Räumliche Ortung</u>	
Z-R	Schwere räumliche Ortung (Begriff <i>links</i> , <i>rechts</i>)
<u>Gedächtnissuche</u>	
Z-G	Mittelschwere Gedächtnissuche (3 Gedächtniselemente)

Hypothesen

Die Primäraufgabe wurde derart konstruiert, dass sie in idealtypischer Weise diejenigen kognitiven Anforderungen bei der Fahrzeugführung abbildet, die sich dem Fahrzeugführer auf der Navigationsebene stellen. Sie sollte somit im dafür zulässigen Abschnitt B während ihrer Durchführung durch zusätzliche kognitive Last (kognitive Ablenkung) beeinflussbar sein, demgegenüber aber in dieser Phase kaum anfällig auf visuelle Ablenkung reagieren. In Übereinstimmung mit den Versuchen 1 und 2 werden somit Untersuchungshypothesen formuliert, die die Beziehung zwischen Primär- und Zweitaufgabenleistung näher beschreiben, wenngleich mit umgekehrten Vorzeichen. Die Befunde der Versuche zur visuellen Ablenkung sollen konkurrent validiert werden.

Allgemeine Untersuchungshypothese – Wirkung der Zweitaufgabe auf die Primäraufgabe

- H 1: In denjenigen Doppelaufgabenbedingungen, in denen die Zweitaufgaben unterstellt wird, hauptsächlich kognitiv ablenkend zu wirken, sind die Entscheidungszeiten und Fehlerraten bei der Primäraufgabenbearbeitung größer als bei denjenigen Zweitaufgaben, die gemäß der Wahl des Versuchsmaterials als hauptsächlich visuell beanspruchend gelten.
- H 1.1: *Entscheidungszeiten* – Die Entscheidungszeiten für die Navigationsschritte bei der Kreisverkehrdurchfahrt sind in den Zweitaufgabenbedingungen Zählen (Z-Z), Logisches Schließen (Z-L), Räumliche Ortung (Z-R) und Gedächtnissuche (Z-G) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Visuelle Suche (Z-V1, Z-V2). Die Entscheidungszeiten in der Zweitaufgabenbedingung Visuelle Suche schwer (Z-V2) sind dabei wiederum größer als in der Bedingung Visuelle Suche einfach (Z-V1).
- H 1.2: *Navigationsfehler* – Die Anzahl von Navigationsfehlern bei der Kreisverkehrdurchfahrt ist in den Versuchsbedingungen Zählen (Z-Z), Logisches Schließen (Z-L), Räumliche Ortung (Z-R) und Gedächtnissuche (Z-G) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Visuelle Suche (Z-V1, Z-V2). Die Zahl von Navigationsfehlern in der Zweitaufgabenbedingung Visuelle Suche schwer (Z-V2) ist dabei wiederum größer als in der Bedingung Visuelle Suche einfach (Z-V1).

Spezielle Untersuchungshypothese – Wirkung der Variation der Primäraufgabenschwierigkeit

- H 2: Die Leistung in der Primäraufgabe sinkt mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Primäraufgabe. Die Primäraufgabenschwierigkeit ist eine Funktion der Variation des Faktors Zielkenntnis und der Anzahl von Ausfahrten.
- H 2.1: *Variation der Zielkenntnis* – Die Primäraufgabenleistung sollte bei von Beginn an bekannter Zielausfahrt besser ausfallen als in denjenigen Versuchsbedingungen, in denen die Zielausfahrt erst nach der Bearbeitung der Zweitaufgabe bekannt gemacht wird. Eine bessere Primäraufgabenleistung bedeutet in diesem Fall die Messung kürzerer Entscheidungszeiten sowie die Erfassung einer geringeren Anzahl von Entscheidungsfehlern.
- H 2.2: *Variation der Anzahl von Ausfahrten* – Die Leistung der Primäraufgabe sinkt mit zunehmender Anzahl von Kreisverkehrausfahrten. Eine schlechtere Primäraufgabenleistung bedeutet in diesem Fall die Messung längerer Entscheidungszeiten sowie die Erfassung einer größeren Anzahl von Entscheidungsfehlern.

Wirkung der Variation des Beschriftungstyps der Ausfahrten in der Primäraufgabe

Über die Wirkung der Primäraufgabenvariation (Zahlen vs. Symbole als Kennzeichnung der einzuprägenden Ausfahrten) wird a priori keine Hypothese zugrundegelegt. Von beiden Kennzeichnungsmodalitäten wird angenommen, dass sie das Arbeitsgedächtnis beanspruchen. Dabei fokussiert das Zahlenmaterial mutmaßlich stärker auf den *Phonological Loop* und die grafischen Symbole eher auf das *Visual Spatial Scratch Pad*. Welche der beiden Komponenten stärker durch Zusatzlast beeinträchtigt wird und ob es zwischen Primär- und Zweitaufgabentyp systematische Interaktionen geben wird, kann vor dem Versuch nicht entschieden werden. Bezogen auf die Primäraufgabenvariation hat Versuch 3 einen explorativen Charakter.

Um die Zweitaufgabendekremente auch in diesem Versuch mit Hilfe des *Computational Model* von Horrey und Wickens (2003) prognostizieren zu können, wurde wiederum allen Teilaufgaben heuristisch ein Beanspruchungswert auf jeder Ressourcendimension zugeordnet (siehe Tabelle 4.22). Die Primäraufgabe wurde visuell im fovealen Gesichtsfeld dargeboten. Die Anforderung an das visuelle Wahrnehmungssystem war hierbei vergleichsweise gering. Die Antwortreaktion der räumlichen Navigation durch den Kreisverkehr wurde bei allen Primäraufgabenvarianten gleichlautend mit dem Beanspruchungswert 1 der Ressource *Rs* geschätzt. Die Hauptanforderung der Primäraufgabe bestand darin, sich die Nummer der Zielausfahrt (P-Z-B7, P-S-B7) oder aber die gesamte Kreisverkehrskonstellation einzuprägen und anschließend zielgenau durch die Kreisverkehrsabschnitte zu schalten. Die daran beteiligten kognitiven Verarbeitungsprozesse der Primäraufgabe finden ihr Abbild in den Beanspruchungswerten der Ressourcen *Cs* und *Cv*. Entlang dieser beiden Ressourcendimensionen wird die Variation der Primäraufgabenschwierigkeit und des Primäraufgabentyps (Zahlen vs. Symbole) deutlich. Die vergleichsweise einfache Einprägeanforderung der Primäraufgabenvarianten mit initial bekannter Zielausfahrt (P-Z-B7, P-S-B7) belegt die räumlichen und verbalen kognitiven Ressourcen (*Cs*, *Cv*) mit dem Wert 1. Bei den Versuchsbedingungen mit zunächst nicht angezeigter Zielausfahrt liegt der Beanspruchungsgrad zum einen höher und er steigt mit zunehmender Anzahl der einzuprägenden Ausfahrten auf der jeweils dominant in Anspruch genommenen Ressource (Zahlen = *Phonological Loop* = *Cv*, Symbole = *Visual Spatial Scratch Pad* = *Cs*) an. Auf die Bedeutsamkeit des verbalen Informationsflusses auf der Navigationsebene des Fahrzeugführungsverhaltens wurde bereits auf Seite 9 hingewiesen (vgl. Alexander & Lunenfeld, 1975). Die Beanspruchungsgrade der Zweitaufgaben wurden von den Versuchen 1 (siehe Seite 47) und 2 (siehe Seite 75) übernommen.

Zentral für das Verständnis des hier gewählten experimentellen Ansatzes ist die nun erfolgende bewusste Abweichung vom Grundprinzip des *Computational Model*. Das *Computational Model* fordert die Vergabe von Schwierigkeitswerten so als ob die zu bewertende Aufgabe allein durchgeführt würde. Das bedeutet, die zu beurteilende Aufgabe wird gesamthaft unter Einbezug aller an ihrer Durchführung beteiligten Informationsverarbeitungsprozesse (Perzeption, Kognition, Verhaltensantwort) betrachtet. Wenn dann zwei Aufgaben, für die Schwierigkeitswerte auf allen Ressourcendimensionen vergeben wurden, im Rahmen des Modells miteinander verrechnet werden, steht im Ergebnis das zu erwartende Doppelaufgabendekrement. Diese Verrechnung durch das *Computational Model* unterstellt explizit eine zeitparallele Bearbeitung auf allen drei Ressourcendimensionen. Wie jedoch oben zum Ausdruck gebracht wurde, wird hier die zeitparallele Bearbeitung auf den Dimensionen Wahrnehmung und Handlungsantwort aktiv vermieden. Diese Informationsverarbeitungsschritte werden im Zusammenspiel beider Aufgaben streng sequentiell getaktet. Um das Berechnungsmodell dennoch anwenden zu können, müssen – obschon das der Aufgabencharakteristik bei einer Einzelbearbeitung widerspricht – die Beanspruchungs- bzw. Schwierigkeitswerte der wahrnehmungs- und handlungsantwortbezogenen Ressourcen auf null gesetzt werden. Nur dann erfolgt auch rechnerisch auf diesen Ressourcendimensionen keine wechselseitige Beeinflussung.

Die Tabelle 4.23 zeigt die prognostizierten Interferenzen zwischen den Primär- und den Zweitaufgaben des Versuchsteils *Zahlen*. In der Tabelle 4.24 sind die Doppelaufgabendekremente des Versuchsteils *Symbole* abgetragen. In Klammern sind zum besseren Verständnis die Werte

Tabelle 4.22

Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 3 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 3 (maximale Beanspruchung); Werte in Klammern entsprechen der zu berücksichtigenden Schwierigkeit bei zeitparalleler Aufgabenbearbeitung (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)

Aufgabe	Ressource (Schwierigkeitswert)							
	Vf	Va	As	Av	Cs	Cv	Rs	Rv
Primäraufgaben								
Zahlen								
P-Z-B7	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1	1	0 (1)	0 (0)
P-Z-U3	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2	2	0 (1)	0 (0)
P-Z-U5	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2	3	0 (1)	0 (0)
Symbole								
P-S-B7	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1	1	0 (1)	0 (0)
P-S-U3	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2	2	0 (1)	0 (0)
P-S-U5	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3	2	0 (1)	0 (0)
Zweitaufgaben								
Visuelle Suche								
Z-V1	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0	1	0 (0)	0 (1)
Z-V2	0 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0	1	0 (0)	0 (1)
Zählen								
Z-Z	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (1)	1	0	0 (0)	0 (1)
Logisches Schließen								
Z-L	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (2)	0	2	0 (0)	0 (1)
Räumliche Ortung								
Z-R	0 (0)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	1	0	0 (0)	0 (1)
Gedächtnissuche								
Z-G	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (1)	1	2	0 (0)	0 (1)

für eine auf allen Ressourcendimensionen zeitparallele Bearbeitung der Aufgaben dokumentiert, die für diesen Versuch auf null gesetzt wurden.

Unabhängige Variablen

Zunächst ist die Ausprägung der Primäraufgabe variiert worden. Im ersten Versuchsteil wurden die Kreisverkehrausfahrten mit Zahlen markiert (P-Z-...), im zweiten Versuchsteil kennzeichneten Symbole die Ausfahrten (P-S-...). Darüber hinaus wurde der Zweitaufgabentyp planvoll auf den bekannten Dimensionen visuelle und kognitive Ablenkung verändert. Daraus resultiert die erste unabhängige Variable. Innerhalb der visuell ablenkenden Zweitaufgabe ist zusätzlich der Schwierigkeitsgrad in den Stufen einfach (Z-V1) und schwer (Z-V2) variiert worden. Innerhalb der Gruppe der kognitiv beanspruchenden Zweitaufgaben fand keine systematische Manipulation des Schwierigkeitsgrades statt. Hier wurde im Sinne einer Variation lediglich zwischen Aufgabentypen unterschieden (Z-Z, Z-L, Z-R, Z-G).

Abhängige Variablen

Als abhängige Variable der Primäraufgabe wurden im dritten Versuch die Entscheidungszeit bei der Kreisverkehrnavigation sowie die Entscheidungsgüte erfasst, das heißt, ob das Navigationsziel erreicht wurde oder nicht. In Übereinstimmung mit den vorangegangenen Versuchen sind für die Zweitaufgaben die jeweils oben genannten Leistungsmaße erhoben worden, das bedeutet die

Tabelle 4.23

Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (kleinster Rang, ** größter Rang) des Versuchsteils Zahlen im Rahmen des Computational Model of Task Interference auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference); Werte in Klammern entsprechen der zeitparallelen Aufgabenbearbeitung*

Doppelaufgabe	DC	CC	TI	Rang
Visuelle Suche				
P-Z-B7 & Z-V1*	0.375 (0.875)	0.800 (3.600)	1.175 (4.475)	1.5 (6.5)
P-Z-B7 & Z-V2*	0.375 (1.125)	0.800 (3.600)	1.175 (4.725)	1.5 (10)
P-Z-U3 & Z-V1	0.625 (1.125)	0.800 (3.600)	1.425 (4.725)	4.5 (10)
P-Z-U3 & Z-V2	0.625 (1.375)	0.800 (3.600)	1.425 (4.975)	4.5 (14)
P-Z-U5 & Z-V1	0.750 (1.250)	0.800 (3.600)	1.550 (4.850)	7 (12.5)
P-Z-U5 & Z-V2	0.750 (1.500)	0.800 (3.600)	1.550 (5.100)	7 (15)
Zählen				
P-Z-B7 & Z-Z	0.375 (0.875)	1.400 (3.400)	1.775 (4.275)	10.5 (5)
P-Z-U3 & Z-Z	0.625 (1.125)	1.400 (3.400)	2.025 (4.250)	12.5 (4)
P-Z-U5 & Z-Z	0.750 (1.250)	1.400 (3.400)	2.150 (4.650)	14.5 (8)
Logisches Schließen				
P-Z-B7 & Z-L	0.500 (1.125)	0.800 (2.600)	1.300 (3.725)	3 (1)
P-Z-U3 & Z-L	0.750 (1.375)	0.800 (2.600)	1.550 (3.975)	7 (2)
P-Z-U5 & Z-L	0.875 (1.500)	0.800 (2.600)	1.675 (4.100)	9 (3)
Räumliche Ortung				
P-Z-B7 & Z-R	0.375 (0.875)	1.400 (3.600)	1.775 (4.475)	10.5 (6.5)
P-Z-U3 & Z-R	0.625 (1.125)	1.400 (3.600)	2.025 (4.725)	12.5 (10)
P-Z-U5 & Z-R	0.750 (1.250)	1.400 (3.600)	2.150 (4.850)	14.5 (12.5)
Gedächtnissuche				
P-Z-B7 & Z-G	0.625 (1.125)	2.200 (4.600)	2.825 (5.725)	16 (16)
P-Z-U3 & Z-G	0.875 (1.375)	2.200 (4.600)	3.075 (5.975)	17 (17)
P-Z-U5 & Z-G**	1.000 (1.500)	2.200 (4.600)	3.200 (6.100)	18 (18)

Antwortzeit und Antwortfehler bei der visuellen Suche (Z-V1, Z-V2), die Anzahl gezählter Zahlen und Zählfehler in der Aufgabe Zählen (Z-Z) sowie jeweils die Antwortzeit und Antwortfehler in den Aufgaben Logisches Schließen (Z-L), Räumliche Ortung (Z-R) und Gedächtnissuche (Z-G).

Versuchsdesign

Der dritte Versuch wurde in zwei Teilen durchgeführt. Eine Hälfte der Probanden bearbeitete Navigationsaufgaben, bei denen die Ausfahrten durch Zahlen markiert wurden, die andere Hälfte der Versuchspersonen arbeitete stattdessen mit grafischen Ausfahrtbeschriftungen (Symbole). Die Versuchsteile verkörpern somit einen Between-subject Zugang. Innerhalb der Teilversuche wurden alle Versuchsbedingungen als vollständige Within-subject Design mit Messwiederholung durchgeführt. Es ergab sich für Versuch 3 ein $2 * (3 * 2 + 3 + 3 + 3 + 3)$ Design. Für die Schwierigkeitsstufen der Primäraufgabe ist in beiden Versuchsteilen (Zahlen, Symbole) außerdem die Grundleistung (Baseline) in der Einzeldurchführung ermittelt worden.

Versuchsablauf

Der Versuch fand in einem Labor an einem PC-Arbeitsplatz statt. Der für die Primäraufgabe erforderliche Monitor befand sich zusammen mit der Tastatur direkt vor der Versuchsperson. Analog zu den Versuchen 1 und 2 waren links und rechts neben dem Monitor die Lautsprecher

Tabelle 4.24

Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (kleinster Rang, ** größter Rang) des Versuchsteils Symbole im Rahmen des Computational Model of Task Interference auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference), Werte in Klammern entsprechen der zu berücksichtigenden Schwierigkeit bei zeitparalleler Aufgabenbearbeitung*

Doppelaufgabe	DC	CC	TI	Rang
Visuelle Suche				
P-Z-B7 & Z-V1*	0.375 (0.875)	0.800 (3.600)	1.175 (4.475)	1.5 (5.5)
P-Z-B7 & Z-V2*	0.375 (1.125)	0.800 (3.600)	1.175 (4.725)	1.5 (10)
P-Z-U3 & Z-V1	0.625 (1.125)	0.800 (3.600)	1.425 (4.725)	4.5 (10)
P-Z-U3 & Z-V2	0.625 (1.375)	0.800 (3.600)	1.425 (4.975)	4.5 (14)
P-Z-U5 & Z-V1	0.750 (1.250)	0.800 (3.600)	1.550 (4.850)	7 (12.5)
P-Z-U5 & Z-V2	0.750 (1.500)	0.800 (3.600)	1.550 (5.100)	7 (15)
Zählen				
P-Z-B7 & Z-Z	0.375 (0.875)	1.400 (3.400)	1.775 (4.275)	10.5 (4)
P-Z-U3 & Z-Z	0.625 (1.125)	1.400 (3.400)	2.025 (4.525)	12.5 (7)
P-Z-U5 & Z-Z	0.750 (1.250)	1.400 (3.400)	2.150 (4.650)	14.5 (8)
Logisches Schließen				
P-Z-B7 & Z-L	0.500 (1.125)	0.800 (2.600)	1.300 (3.725)	3 (1)
P-Z-U3 & Z-L	0.750 (1.375)	0.800 (2.600)	1.550 (3.975)	7 (2)
P-Z-U5 & Z-L	0.875 (1.250)	0.800 (3.600)	1.675 (4.850)	9 (12.5)
Räumliche Ortung				
P-Z-B7 & Z-R	0.375 (0.875)	1.400 (3.600)	1.775 (4.475)	10.5 (5.5)
P-Z-U3 & Z-R	0.625 (1.125)	1.400 (3.600)	2.025 (4.725)	12.5 (10)
P-Z-U5 & Z-R	0.750 (1.500)	1.400 (2.600)	2.150 (4.100)	14.5 (3)
Gedächtnissuche				
P-Z-B7 & Z-G	0.625 (1.125)	2.200 (4.600)	2.825 (5.725)	16 (16)
P-Z-U3 & Z-G	0.875 (1.375)	2.200 (4.600)	3.075 (5.975)	17 (17)
P-Z-U5 & Z-G**	1.000 (1.500)	2.200 (4.600)	3.200 (6.100)	18 (18)

für die Zweitaufgaben Räumliche Ortung (Z-R), Logisches Schließen (Z-L) und Gedächtnissuche (Z-G) sowie rechts das Zusatzdisplay für die visuelle Suchaufgabe (Z-V1, Z-V2) angeordnet. Die Versuchspersonen wurden begrüßt, mit der Versuchsumgebung vertraut gemacht sowie über die Inhalte und Anforderungen des bevorstehenden Versuchs informiert. Die Primäraufgabe konnte geübt werden. Ebenso konnte auf Wunsch jede Zweitaufgabe vor der ersten Durchführung ausprobiert werden.

Der Versuchsablauf folgte der obigen Schilderung der Primäraufgabe (vgl. Seite 87). Der Versuchsleiter startete die Primäraufgabe, nachdem der Proband seine Bereitschaft signalisiert hatte. Nach der Darbietung des Kreisverkehr-Verkehrszeichens wurde die Primäraufgabe automatisch pausiert. Die Versuchsperson wechselte umgehend zur Bearbeitung der jeweiligen Zweitaufgabe, die im selben Augenblick vom Versuchsleiter gestartet worden ist. Nach Beendigung der Zweitaufgabe, die ca. 60 Sekunden dauerte, setzte der Versuchsleiter durch Tastendruck die Primäraufgabe fort. Für jede Primäraufgabenausprägung (Zahlen, Symbole und Anzahl von Ausfahrten) wurden jeweils 14 Konfigurationsdateien (INI-Dateien) im Zufallsverfahren erstellt (vgl. Seite 50), die zufällig den Versuchsbedingungen und Probanden zugeordnet worden sind.

Die Durchführung der Zweitaufgaben entsprach vollständig dem oben beschriebenen Vorgehen (Zählen und Logisches Schließen vgl. Abschnitt 4.2.2, ab Seite 50; Visuelle Suche, Räumliche Ortung und Gedächtnissuche vgl. Abschnitt 4.3.2, ab Seite 76). Einzig die Zweitaufgabendauer wurde im Unterschied zu den Versuchen 1 und 2 auf 1 Minute reduziert. Anzumerken bleibt, dass die Startzahl für die Zähltaufgabe sowohl vor Beginn des entsprechenden Versuchs-

durchgangs genannt, zusätzlich aber, um die Gedächtnislast zu minimieren, unmittelbar nach der Hinwendung zur Zählaufgabe noch einmal vom Versuchsleiter laut eingeworfen wurde.

Auch in diesem Versuch wurden die Probanden instruiert, dass ihr Hauptaugenmerk auf der Bearbeitung der Primäraufgabe liegen sollte, ohne gleichzeitig die Zweitaufgaben zu vernachlässigen. Insgesamt dauerte eine Versuchssitzung etwa 45 Minuten. Die Erfassung der Primäraufgabengrundleistung (Baseline) fand an einer zufälligen Position innerhalb des Versuchsablaufs statt.

4.4.3 Ergebnisse

Primäraufgabe

Die Leistung bei der Primäraufgabenbearbeitung wurde automatisiert in einer Protokolldatei erfasst. Für jeden Navigationsschritt ist die Entscheidungszeit vom Zeitpunkt der Einblendung des Kreisverkehrsabschnitts bis zum Tastendruck der Versuchsperson registriert worden. Jeder dieser Datenpunkte wurde zusätzlich mit der Information versehen, ob bei diesem Navigationsschritt eine echte Navigationsentscheidung getroffen werden musste, unabhängig davon, ob diese Entscheidung richtig oder falsch war. Eine Navigationsentscheidung war nur erforderlich, wenn der momentane Kreisverkehrssektor eine Ausfahrt enthielt, bei der entschieden werden musste, entweder im Kreisverkehr zu verbleiben oder auszufahren. Als Fehlermaß wurde die Güte der Navigationsentscheidung protokolliert. Ein korrektes Verbleiben im Kreisverkehr galt ebenso als richtige Navigationsentscheidung wie das Ausfahren an der definierten Zielausfahrt. Da der Kreisverkehr aus acht Sektoren bestand, mussten je nach Primäraufgabenbedingung zwischen ein und sieben (einfach, P-...-B7), ein und drei (mittel, P-...-U3) sowie ein und fünf (schwer, P-...-U5) Navigationsentscheidungen getroffen werden. Die Entscheidungszeiten dieser Navigationsschritte sind durch Bildung des arithmetischen Mittels zur Gesamtentscheidungszeit dieser Versuchsbedingung zusammengefasst worden. Diese Gesamtentscheidungszeit resultierte somit in ihren Extremen aus lediglich einer echten Entscheidungszeit oder aber aus dem Mittel von sieben Entscheidungszeiten.

Wurde bewusst an der Zielausfahrt vorbei navigiert, galt dieser Navigationsschritt als Fehler und wurde entsprechend zurückgemeldet (Einblendung „verpasst“). Wurde jedoch im tatsächlichen Ausfahrtsektor keine Entscheidung gefällt (keine Entscheidung innerhalb der zur Verfügung stehenden 5000 ms), wurde von der Experimentalsoftware automatisch zum nächsten Sektor gesprungen. Zwar wurde die ausbleibende Reaktion in der Protokolldatei fixiert, dieser passive Fehler führte aber nicht zum Abbruch des Versuchsdurchgangs. Bei dieser speziellen Konstellation erlaubte das Programm ein mehrmaliges Durchfahren des Kreisverkehrs. Dieser Zustand ist bei Versuchsperson 14 bei der Bestimmung der Grundleistung (Baseline) der einfachen Primäraufgabenvariante (P-Z-B7) eingetreten. Für diese Versuchsperson wurden 14 Navigationsentscheidungen registriert, obgleich bei regulärer Bearbeitung maximal 7 Entscheidungen möglich gewesen wären.

Entscheidungszeiten – Die Versuchsperson 19 ist im Versuchsteil 2 in der Bedingung P-S-B7 & Z-G nach der Darbietung der Zielausfahrt direkt verkehrsregelwidrig nach links in den Kreisverkehr eingefahren. Das war programmseitig zulässig, machte diesen Versuchsdurchgang jedoch sofort ungültig. Für diese Versuchsbedingung liegen aus diesem Grund keine Entscheidungszeiten für die Kreisverkehrsnavigation vor. Ebenfalls keine Entscheidungszeiten wurden für die Versuchsperson 38 bei der Bestimmung der Grundleistung in der mittelschweren Primäraufgabenvariante im Versuchsteil Symbole (P-S-U3) registriert. Die Protokolldatei für diese Versuchsbedingung konnte nicht rekonstruiert werden.

Die gemessenen mittleren Entscheidungszeiten aller Navigationsentscheidungen sind in der Abbildung 4.15 grafisch aufbereitet. Bei der Berechnung der *F*-Statistik für die varianzanalytische Hypothesenprüfung wurde der Experimentalfaktor *Versuchsteil* (Zahlen vs. Symbole) als

Zwischensubjektfaktor berücksichtigt. Es sind für die beiden Versuchsteile keine separaten F -Tests gerechnet worden.

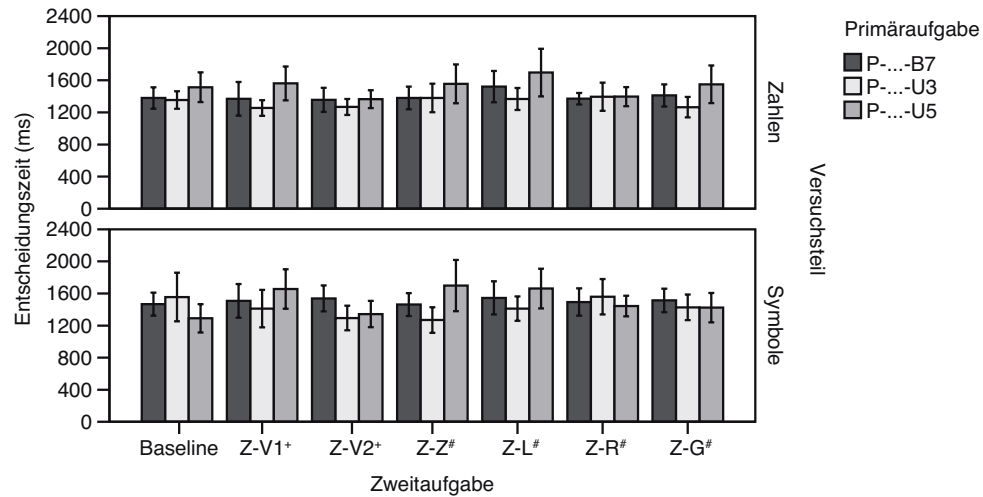


Abbildung 4.15. Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Versuchsteil, Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

Bei flüchtiger Betrachtung fällt zunächst das wenig differenzierte Datenbild auf. Bis auf gewisse Niveauunterschiede zwischen den Stufen der Primäraufgabenschwierigkeit – visualisiert durch die grau schattierten Balken einer Zweitaufgabe – ist hinsichtlich der darüber hinaus experimentell variierten unabhängigen Variablen Versuchs- bzw. Doppelaufgabenbedingung (Zweitaufgabentyp) und Versuchsteil (Zahlen vs. Symbole) vordergründig kein eindeutiger Trend auszumachen. Die Mittelwerte der Entscheidungszeiten aller Versuchsbedingungen bewegen sich zwischen dem Minimum von $M = 1254.81\text{ ms}$ in der Doppelaufgabenbedingung P-Z-U3 & Z-V1 und dem Maximum von $M = 1697.56\text{ ms}$ in der Versuchsbedingung P-S-U5 & Z-Z (Deskriptivstatistik siehe Tabelle 4.25 und Tabelle 4.26). Auf der Analyseebene der Versuchsbedingungen befinden sich die über die Versuchspersonen aggregierten Entscheidungszeiten somit in einem vergleichsweise schmalen Zeitkanal von etwa 500 Millisekunden. Natürlich streuen die Werte einzelner Versuchspersonen deutlich über diese Mittelwerte hinweg, wie aus den Fehlerbalken in Abbildung 4.15 und aus den minimalen Mittelwerten von teilweise weniger als 1 Sekunde und maximalen Mittelwerten von etwa 3.5 Sekunden in einigen Versuchsbedingungen in den Tabellen 4.25 und 4.26 ersichtlich wird.

Bei näherer Betrachtung lassen sich sowohl im Versuchsteil *Zahlen* als auch im Teil *Symbole* dennoch gewisse Datenspitzen ausmachen. In der schweren Primäraufgabenvariante kann der größte mittlere Entscheidungszeitwert in Versuchsbedingungen mit kognitiver Ablenkung durch die Zweitaufgabe identifiziert werden, namentlich in der Paarung der Primäraufgabe mit der logischen Schlussfolgerungsaufgabe (Z-L) im Versuchsteil *Zahlen*, $M = 1696.92\text{ ms}$ und in der Doppelaufgabenbedingung mit der Zweitaufgabe Zählen (Z-Z) im Versuchsteil *Symbole*, $M = 1697.56\text{ ms}$. Demgegenüber traten in der Primäraufgabenbedingung *schwer* sehr kleine mittlere Entscheidungszeiten in beiden Versuchsteilen in den Doppelaufgabenbedingungen mit schwerer visueller Suche (Z-V2) auf (Zahlen: $M = 1365.18\text{ ms}$, Symbole: $M = 1343.51\text{ ms}$). Wie aber in der Abbildung 4.15 und der Übersicht der deskriptivstatistischen Kennwerte in der Tabelle 4.26 erkennbar ist, lassen sich insbesondere bei der einfachen und mittelschweren Primäraufgabenausprägung inhaltlich gegenläufige Messwerte finden, etwa den im Versuchsteil *Symbole* absolut niedrigsten Entscheidungszeitmittelwert in der kognitiv ablenkenden Bedingung Zählen (Z-Z: $M = 1268.87\text{ ms}$). Innerhalb der schweren Primäraufgabenbedingung stehen den kleinen Entscheidungszeiten in der visuell schweren Ablenkungsbedingung (Z-V2) große Ent-

Tabelle 4.25

Deskriptive Statistik der mittleren Entscheidungszeiten in ms und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger sowie falscher Navigationsentscheidungen in Millisekunden im Versuchsteil Zahlen, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 19$)

Bedingung	min.	max.	M	SD	Rang
Visuelle Ablenkung					
Visuelle Suche einfach					
P-Z-B7 & Z-V1	47.00	2430.75	1369.71	458.03	7
P-Z-U3 & Z-V1*	849.50	1600.00	1254.81	210.70	1
P-Z-U5 & Z-V1	992.20	2427.75	1561.69	461.81	17
Visuelle Suche schwer					
P-Z-B7 & Z-V2	937.00	2124.00	1356.39	327.22	4
P-Z-U3 & Z-V2	921.00	1800.00	1267.99	216.82	3
P-Z-U5 & Z-V2	949.50	1854.50	1365.18	243.48	5
Kognitive Ablenkung					
Zählen					
P-Z-B7 & Z-Z	1007.40	2178.80	1380.18	310.49	9
P-Z-U3 & Z-Z	882.50	2471.00	1380.60	387.96	10
P-Z-U5 & Z-Z	705.00	3048.00	1556.04	528.09	16
Logisches Schließen					
P-Z-B7 & Z-L	989.50	2343.00	1522.43	425.48	14
P-Z-U3 & Z-L	933.67	1961.50	1367.11	300.14	6
P-Z-U5 & Z-L**	1027.00	3667.00	1696.92	648.05	18
Räumliche Ortung					
P-Z-B7 & Z-R	1070.00	1632.00	1371.45	156.72	8
P-Z-U3 & Z-R	771.00	2582.00	1395.78	382.99	11
P-Z-U5 & Z-R	923.00	1922.50	1396.96	258.62	12
Gedächtnissuche					
P-Z-B7 & Z-G	978.50	2134.00	1411.58	300.82	13
P-Z-U3 & Z-G	814.00	2093.00	1264.97	278.41	2
P-Z-U5 & Z-G	989.50	2826.75	1550.48	512.23	15

scheidungszeiten in der einfachen visuellen Ablenkungsbedingung (Z-V1) gegenüber (Zahlen: $M = 1561.69$ ms, Symbole: $M = 1655.50$ ms). Das Messwertbild bleibt auch bei näherer Betrachtung sehr uneinheitlich und folgt vordergründig bezogen auf die Versuchsbedingungen keiner klaren Systematik, insbesondere aufgrund der fehlenden klaren Abgrenzung zu den Einzelaufgabenbedingungen der Grundleistungsbestimmung (Baseline). Die Entscheidungszeiten dieser Versuchsdurchführungen der Einzelaufgabenbearbeitung liegen innerhalb der variierten Bedingungen bestenfalls im Mittelfeld der Entscheidungszeiten, jedoch keinesfalls an ihrem unteren Ende (vgl. Abbildung 4.15).

Inwiefern die variierten unabhängigen Variablen die Ausprägung der mittleren Entscheidungszeiten determinierten, ist mit Hilfe multivariater Varianzanalysen geprüft worden. Die Tabelle 4.27 listet die errechneten F -Test-Werte auf. Es wurden jeweils zwei Tests gerechnet. Zum einen ist die Bestimmung der Grundleistung (Versuchsbedingung *Baseline*) als reguläre Versuchsbedingung mit einbezogen worden, obwohl es sich dabei nicht um eine Doppelaufgabenbearbeitung handelte. Zum anderen wurde die Bedingung *Baseline* ausgeklammert, um eine klare Aussage zur Parameterdynamik innerhalb des experimentellen Zustands der Paarung zweier Aufgaben treffen zu können.

Wie die Tabelle 4.27 deutlich zeigt, verursachte die Variation der Versuchsbedingung nur unter statistischer Ausklammerung der Versuchsbedingung *Baseline* einen schwach signifikanten Effekt auf das Zustandekommen der mittleren Entscheidungszeiten. Die multiplen Paarvergleiche in der Tabelle A.26 im Anhang A.3.1 zeigen, dass dieses signifikante Ergebnis allein

Tabelle 4.26

Deskriptive Statistik der mittleren Entscheidungszeiten in ms und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger und falscher Navigationsentscheidungen in Millisekunden im Versuchsteil Symbole, getrennt nach Zweitaufgabe ($N = 20$)

Bedingung	min.	max.	M	SD	Rang
Visuelle Ablenkung (Visuelle Suche)					
Visuelle Suche einfach					
P-S-B7 & Z-V1	1067.50	3246.00	1507.91	468.38	11
P-S-U3 & Z-V1	911.67	3456.00	1411.34	522.75	5
P-S-U5 & Z-V1	976.00	2753.50	1655.60	552.88	16
Visuelle Suche schwer					
P-S-B7 & Z-V2	972.25	2369.25	1538.87	364.16	13
P-S-U3 & Z-V2	867.00	2257.00	1294.38	342.36	2
P-S-U5 & Z-V2	150.00	1995.00	1343.51	366.39	3
Kognitive Ablenkung					
Zählen					
P-S-B7 & Z-Z	957.00	2083.00	1462.06	319.73	9
P-S-U3 & Z-Z*	853.00	2490.00	1268.87	357.48	1
P-S-U5 & Z-Z**	948.33	3678.00	1697.56	714.28	18
Logisches Schließen					
P-S-B7 & Z-L	1001.00	2542.00	1545.27	461.58	14
P-S-U3 & Z-L	916.50	2235.00	1410.88	341.26	4
P-S-U5 & Z-L	1108.50	2934.00	1661.13	554.36	17
Räumliche Ortung					
P-S-B7 & Z-R	980.00	2306.67	1493.37	379.91	10
P-S-U3 & Z-R	863.50	2825.00	1559.58	494.89	15
P-S-U5 & Z-R	1062.60	1938.00	1444.37	287.41	8
Gedächtnissuche					
P-S-B7 & Z-G	1043.60	2130.80	1513.45	320.17	12
P-S-U3 & Z-G	967.33	2291.00	1427.21	355.55	7
P-S-U5 & Z-G	161.00	1911.00	1423.48	411.27	6

Tabelle 4.27

Haupteffekte der Entscheidungszeit in der Primäraufgabe auf der Ebene der Versuchsbedingungen (Doppelaufgabenbedingungen)

F -Test mit Baseline	F -Test ohne Baseline
Haupteffekte	
Faktor Versuchsbedingung $F(6, 210) = 2.096, p = .055$	$F(4.763, 171.478) = 2.743, p = .023, \eta^2 = .071$
Faktor Primäraufgabenschwierigkeit $F(2, 70) = 11.091, p < .001, \eta^2 = .241$	$F(1.662, 59.839) = 9.061, p < .001, \eta^2 = .201$
Faktor Versuchsteil (Zahlen vs. Symbole) $F(1, 35) = .167, p = .685$	$F(1, 36) = .667, p = .419$
Interaktionen	
Versuchsbedingung * Primäraufgabenschwierigkeit $F(8.713, 304.943) = 2.529, p = .009, \eta^2 = .067$	$F(7.908, 284.672) = 2.526, p = .012, \eta^2 = .066$
Versuchsbedingung * Versuchsteil (Zahlen vs. Symbole) $F(6, 210) = .465, p = .834$	$F(4.763, 171.478) = .583, p = .705$

aufgrund einer tatsächlichen Mittelwertdifferenz zwischen den oben bereits deskriptiv identifizierten deutlichen Unterschieden zwischen den Doppelaufgabenbedingungen Z-V2 und Z-L in beiden Versuchsteilen *Zahlen* und *Symbole* zurückzuführen ist. Der Faktor *Versuchsteil*, also die Variation der Ausfahrtbeschriftung mit Zahlen oder Symbolen, blieb ohne entscheidungszeitbeeinflussende Wirkung, weder mit noch ohne Berücksichtigung der Baseline. Ebenso trat sie nicht in Wechselwirkung mit dem Faktor Versuchsbedingung. Folglich wurde teststatistisch weder ein Haupteffekt noch ein Interaktionseffekt der unabhängigen Variable *Versuchsteil* sichtbar. (siehe Tabelle 4.27).

Sehr deutlich hingegen hat die Manipulation der Primäraufgabenschwierigkeit auf die Entscheidungszeiten durchgeschlagen. Die Abbildung 4.16 verdeutlicht die Abhängigkeit der Entscheidungszeiten vom Schwierigkeitsgrad der Primäraufgabe. Für diese Darstellungsvariante sind die Entscheidungszeiten aller Versuchsbedingungen einer Primäraufgabenschwierigkeitsstufe gemittelt worden, um diese Sicht auf die Messdaten zu betonen. Insbesondere anhand der Messwerte des Versuchsteils *Zahlen* wird sehr deutlich, dass die intendiert schwierigste Kreisverkehrvariante (P-Z-U5) mit fünf einzuprägenden Ausfahrten bei zunächst unbekannter Zielausfahrt zu den im Mittel über alle Versuchsbedingungen längsten Entscheidungszeiten führte ($M = 1520.15 \text{ ms}$). Die kleinsten Entscheidungszeiten ergaben sich mit $M = 1326.60 \text{ ms}$ in der Primäraufgabenkonstellation mit ebenfalls initial unbekannter Zielausfahrt und drei einzuprägenden Ausfahrten (P-Z-B7). Mit $M = 1398.71 \text{ ms}$ lag die mutmaßlich einfachste Primäraufgabenbedingung leicht über der mittleren (P-Z-U3). Im Versuchsteil *Symbole* zeigt sich ein weniger prägnantes Bild der Rangfolgen der Primäraufgabenschwierigkeiten. Die einfache und die schwere Bedingung liegen faktisch gleich auf (P-S-B7: $M = 1503.95 \text{ ms}$, P-S-U5: $M = 1502.39 \text{ ms}$). Ein wenig schneller fielen die Navigationsentscheidungen in allen Versuchsbedingungen der mittleren Primäraufgabenschwierigkeit (P-S-U3: $M = 1418.33 \text{ ms}$). Insgesamt liegt das Niveau der Entscheidungszeiten in der einfachen und mittelschweren Primäraufgabe im Versuchsteil *Symbole* über dem im Teil *Zahlen*. Das Postulat der Abhängigkeit der Entscheidungszeiten von der Variation der Primäraufgabe wird durch die varianzanalytische Prüfung bestätigt. In der Tabelle 4.27 sind die entsprechenden *F*-Testwerte in der Zeile *Faktor Primäraufgabenschwierigkeit* abgetragen, wiederum differenziert nach der Berücksichtigung der Einzelaufgabenbedingung *Baseline*. Die *F*-Tests sind nicht auf der in Abbildung 4.16 für die reine Visualisierung dargestellten Aggregationsstufe berechnet worden, sondern auf der Ebene der Einzelversuchsbedingungen, wie sie in Abbildung 4.15 dargestellt sind. Die varianzanalytische Prüfung der Wechselwirkungen zwischen den unabhängigen Variablen des Versuchs zeigt, dass das Zusammenspiel der Variation der Versuchsbedingung und die Variation der Primäraufgabenschwierigkeit die Entscheidungszeiten systematisch beeinflusst haben. Zwar ist der ausgewiesene Effekt von $\eta^2 = .067$ unter Berücksichtigung der Versuchsbedingung *Baseline* und $\eta^2 = .066$ unter Ausklammerung der Baseline sehr klein, dennoch erreicht der Interaktionseffekt das Niveau der Signifikanz (siehe Tabelle 4.27)

Wie bereits in den beiden vorangegangenen Versuchen wurden auch hier in einem weiteren Auswertungsschritt die Zweitaufgabenbedingungen zu Hauptgruppen der visuellen Ablenkung, der kognitiven Ablenkung und derjenigen ohne Ablenkung (Versuchsbedingungen zur Ermittlung der Grundleistung – Baseline) durch Bildung des arithmetischen Mittels zusammengefasst. Die Abbildung 4.17 stellt die aggregierten Entscheidungszeiten getrennt nach Ablenkungsklasse und Primäraufgabenschwierigkeit grafisch dar. Das oben gezeichnete vergleichsweise unspezifische Bild der Entscheidungszeiten setzt sich hier fort. Es kann ein deutlicher Haupteffekt der Primäraufgabenschwierigkeit ausgewiesen werden (siehe Tabelle 4.28), der bei der reinen Gegenüberstellung der Aufgabengruppen *visuelle Ablenkung* und *kognitive Ablenkung* etwas größer ausfällt, $\eta^2 = .228$ als unter Einbezug der Primäraufgabeneinzelbearbeitung (Baseline), $\eta^2 = .143$. Die Variation der Versuchsbedingung bzw. des Zweitaufgabentyps zeigt indessen auch auf der Aggregationsebene der Zweitaufgabenklassen nur einen signifikanten Einfluss auf die Entscheidungszeiten, wenn die Einzelaufgabenbedingung *Baseline* von der Auswertung ausgeschlossen wird. Der geschätzte Effekt ist mit $\eta^2 = .146$ etwas größer als bei der oben vorgenommenen Einzelanalyse der Versuchsbedingungen (siehe Tabelle 4.28).

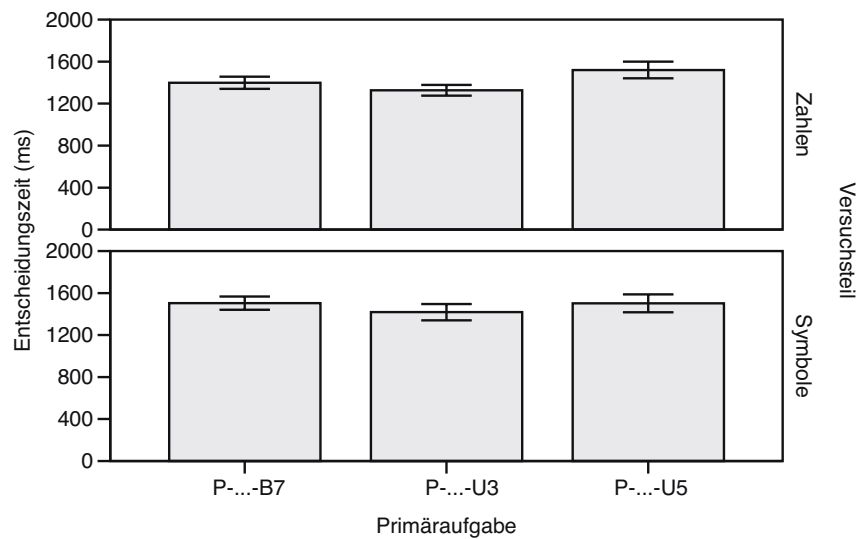


Abbildung 4.16. Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Versuchsteil und Primäraufgabenschwierigkeit.

Der Zwischensubjektfaktor *Versuchsteil* mit seinen Ausprägungen *Zahlen* und *Symbole* blieb kongruent zu den oben referierten Befunden auch im direkten Vergleich zwischen den zusammengefassten visuell ablenkenden und den zusammengefassten kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben ohne Wirkung auf das Zustandekommen der Entscheidungszeiten. Es konnte varianzanalytisch weder ein direkter Einfluss noch eine vermittelte Wirkung im interagierenden Zusammenspiel mit dem Faktor *Versuchsbedingung* belegt werden, unabhängig davon, ob nur die Doppelaufgabenbedingungen (ohne Baseline) betrachtet wurden oder die Baseline in den *F*-Test einbezogen wurde (vgl. Tabelle 4.28).

Tabelle 4.28

Haupteffekte der Entscheidungszeit in der Primäraufgabe auf der Ebene der Ablenkungsklassen (Baseline vs. visuelle vs. kognitive Ablenkung)

<i>F</i> -Test mit Baseline	<i>F</i> -Test ohne Baseline
Haupteffekte	
Faktor Versuchsbedingung $F(1, 66.490) = 2.216, p = .121$	$F(1, 37) = 6.331, p = .016, \eta^2 = .146$
Faktor Primäraufgabenschwierigkeit $F(2, 72) = 6.021, p = .004, \eta^2 = .143$	$F(1.681, 62.215) = 10.955, p < .001, \eta^2 = .228$
Faktor Versuchsteil (Zahlen vs. Symbole) $F(1, 36) = .308, p = .583$	$F(1, 37) = .969, p = .331$
Interaktionen	
Versuchsbedingung * Primäraufgabenschwierigkeit $F(2.797, 100.677) = 2.684, p = .055$	$F(1.455, 53.828) = .597, p = .503$
Versuchsbedingung * Versuchsteil (Zahlen vs. Symbole) $F(1.847, 66.490) = .242, p = .769$	$F(1, 37) = 1.056, p = .311$

Entscheidungsfehler – Als weiteres Gütemaß der Primäraufgabenleistung wurde erfasst, ob ein Versuchsdurchgang nicht erfolgreich gelöst wurde. Als Entscheidungsfehler galt das Ausfahren an einer falschen oder das aktive Verpassen der richtigen Ausfahrt. Die Abbildung 4.18 zeigt

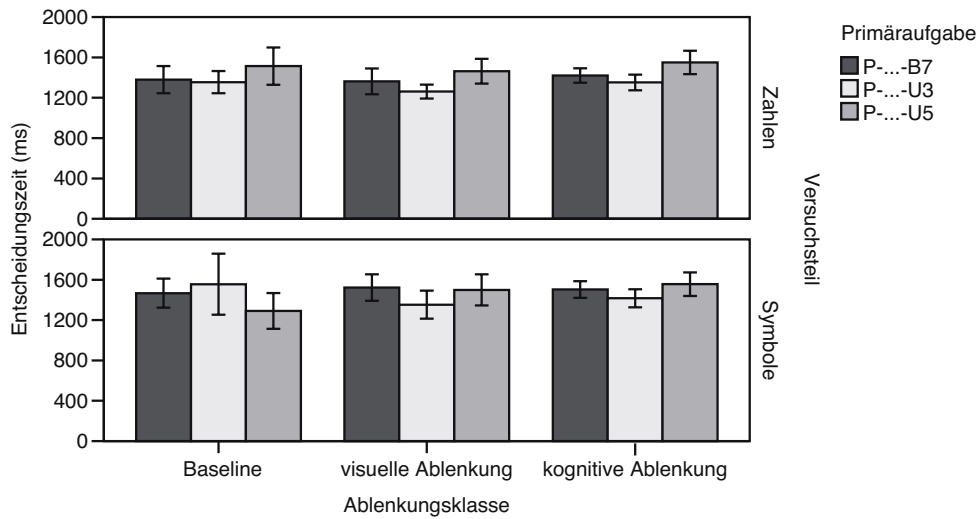


Abbildung 4.17. Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Versuchsteil, Primäraufgabe und Ablenkungsklasse.

die über alle Versuchspersonen kumulierten Entscheidungsfehler, getrennt nach Zweitaufgabe und Versuchsteil. Wie deutlich zu erkennen ist, traten in nahezu allen Versuchsbedingungen die meisten Fehler während der Bearbeitung der schweren Primäraufgabe auf. Lediglich bei der zusätzlichen Bearbeitung der Zweitaufgabe Räumliche Ortung (Z-R) im Versuchsteil Zahlen sowie bei der einfachen visuellen Suche (Z-V1) im Versuchsteil Symbole wurden in der einfachen Primäraufgabenbedingung ebenso viele Entscheidungsfehler begangen wie in der schweren Primäraufgabenbedingung. In beiden Fällen war das absolute Fehlerausmaß mit 3 bzw. 2 aber vergleichsweise klein. Zwischen der leichten und der mittelschweren Primäraufgabenausprägung lässt sich anhand der Abbildung 4.18 keine klare Rangfolge bestimmen. Je nach Versuchsbedingung traten sowohl in der einen als auch in der anderen Primäraufgabenausprägung mehr Fehler auf, wenn auch auf eindeutig niedrigerem Niveau als bei der schweren Primäraufgabe.

Die mit Abstand häufigsten Navigationsfehlentscheidungen traten in beiden Versuchsteilen bei der Bearbeitung der schweren Primäraufgabenvariante mit gleichzeitigem Vorwärtzzählen in Zweisritten auf (P-...-U5 & Z-Z). Im Versuchsteil *Zahlen* haben mit 11 Probanden knapp 60 Prozent der Versuchsteilnehmer ($N = 19$) das Navigationsziel nicht erreicht. Im Versuchsteil *Symbole* gelang es 9 Probanden nicht, an der korrekten Ausfahrt auszufahren. Das entspricht 45 Prozent der Teilnehmer ($N = 20$). Die leichte und die mittelschwere Schwierigkeitsstufe der Primäraufgabe (P-S-B7, P-S-U3) wurden im Versuchsteil *Symbole* bei gleichzeitigem Zählen (Z-Z) von allen Versuchsteilnehmern fehlerfrei bearbeitet. Bei den übrigen Versuchsbedingungen zeigt sich zwischen den Versuchsteilen ein uneinheitliches Bild. Während im Teil *Zahlen* sowohl bei den visuell als auch bei den kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben vergleichbare Fehlerzahlen auftraten, so zum Beispiel 6 Fehler in der einfachen visuellen Suche und ebenso 6 Fehler in der kognitiv ablenkenden Gedächtnissuche, ist im Versuchsteil *Symbole* eine Zweiteilung des Fehleraufkommens entlang der Ablenkungsmodalität erkennbar. Die kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben führten zu mehr Fehlern als die visuell ablenkenden Zweitaufgaben. Einzig die Zweitaufgaben Z-V1 und Z-R liegen mit jeweils drei nicht gelösten Navigationsaufgaben gleich auf. Alle übrigen kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben verursachten jedoch mindestens doppelt so viele Fehldurchgänge der Primäraufgabe.

Zur besseren Einordnung der absoluten Fehlerausprägung bei der Doppelaufgabenbearbeitung ist in Abbildung 4.18 wiederum die Einzelaufgabensituation der Bestimmung der Grundleistung der Primäraufgabe (*Baseline*) abgetragen worden. Beim schweren Primäraufgabentyp wurde die Anforderung von jeweils vier Versuchspersonen nicht gelöst. Damit liegt die Fehler-

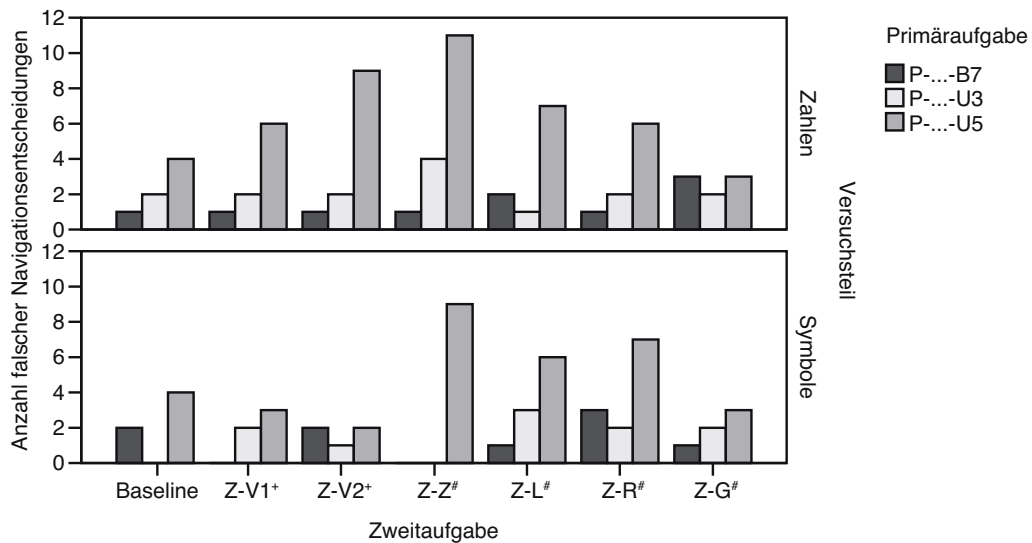


Abbildung 4.18. Anzahl Versuchspersonen, die das Navigationsziel nicht erreicht haben, getrennt nach Versuchsteil, Primäraufgabe und Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

quote dieser Einzelaufgabenbearbeitung in beiden Versuchsteilen höher als bei der Doppelaufgabenbearbeitung mit gleichzeitiger räumlicher Ortungsaufgabe (jeweils drei Fehler in beiden Versuchsteilen in der schweren Primäraufgabenbedingung). In der einfachen und mittelschweren Primäraufgabenbedingung liegt das Fehleraufkommen bei der Baseline-Bestimmung in etwa gleich auf mit dem der anderen durch Doppelaufgabenbearbeitung gekennzeichneten Versuchsbedingungen. Das heißt, auch bezogen auf diesen Parameter markiert die Ermittlung der Grundleistung als Einzelaufgabenanforderung nicht die untere Grenze der Messwertausprägung.

Zweitaufgaben

Die abhängigen Variablen der Zweitaufgaben wurden nach den bereits für Versuch 1 in Abschnitt 4.2.3 und für Versuch 2 in Abschnitt 4.3.3 erläuterten Verfahren erhoben und ausgewertet.

Visuelle Suche (Visuelle Ablenkung) – Im Anhang A.3.2 sind in den Tabellen A.27 und A.28 die mittleren Suchzeiten bis zum Auffinden des Zielreizes durch die Probanden für die Versuchsteile *Zahlen* und *Symbole* getrennt nach Zweitaufgabenschwierigkeit abgetragen. Es wird unmittelbar sichtbar – und durch die *F*-Statistik bestätigt –, dass es einen Antwortzeitunterschied zwischen der einfachen (Z-V1) und der schweren (Z-V2) visuellen Suche gibt, und zwar konsistent über die Variation der Primäraufgabenschwierigkeit und des Versuchsteils hinweg, $F(1, 37) = 484.915, p < .001, \eta^2 = .929$. Innerhalb der Versuchsbedingungen einer Zweitaufgabenschwierigkeit Z-V1 und Z-V2 zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Die Variation der Primäraufgabenschwierigkeit hat die Ausprägung der Antwortzeiten nicht moderiert, $F(2, 74) = 1.573, p = .214$. Gleiches gilt für die unabhängige Variable Versuchsteil. Aufgrund der inferenzstatistischen Prüfung muss einem systematischen Einfluss dieses Experimentalfaktors auf die Zweitaufgabenantwortzeit widersprochen werden, $F(1, 37) = 3.050, p = .089$.

Dieses Ergebnisbild findet sich nahezu parallel auch bei der gemessenen Anzahl von Antwortfehlern. Die deskriptivstatistischen Details sind in den Tabellen A.29 und A.30 im Anhang A.3.2 aufgeführt. Die Varianzanalyse stützt die Folgerung aus diesem Messwertbild, dass eine größere Zweitaufgabenschwierigkeit zu einer höheren Fehlerzahl führt, $F(1, 37) = 37.566, p < .001, \eta^2 = .504$. Die Variation der Primäraufgabenschwierigkeit ($F(2, 74) = .021, p = .979$) und

des Versuchsteils ($F(1, 37) = 1.725, p = .197$) blieb indessen auch beim Parameter *Anzahl von Antwortfehlern* ohne Befund.

Zählen (Kognitive Ablenkung) – In der Tabelle A.31 im Anhang A.3.2 sind die Ergebnisse der Zweitaufgabe Zählen deskriptivstatistisch abgetragen. In beiden Versuchsteilen streute die Anzahl vorwärts gezählter Zahlen sehr stark. Dennoch war die Anzahl der gezählten Zahlen in beiden Versuchsteilen unabhängig von der jeweiligen Doppelaufgabenpaarung, genauer gesagt von der Primäraufgabenschwierigkeit, $F(2, 74) = 1.250, p = .293$. Obwohl laut Tabelle A.31 im Versuchsteil *Symbole* das Gesamtniveau gezählter Zahlen niedriger zu sein scheint, als im Versuchsteil *Zahlen*, übte der Zwischensubjektfaktor Versuchsteil keinen signifikanten Einfluss auf das Zustandekommen des Umfangs gezählter Zahlen aus, $F(1, 37) = 2.764, p = .105$. Ergebnisse zur Anzahl von Zählfehlern werden nicht berichtet, da sich keine der Versuchspersonen in keiner der Versuchsbedingungen verzählte.

Logisches Schließen (Kognitive Ablenkung) – Die Antwortzeit richtiger Antworten sowie die Anzahl falscher Antworten dieser Zweitaufgabe sind im Anhang A.3.2 in den Tabellen A.32 und A.33 aufgelistet. Obwohl aufgrund der Mittelwertunterschiede durchaus eine gewisse Abhängigkeit der Antwortzeiten richtiger Antworten von der Variation der unabhängigen Variablen Primäraufgabenschwierigkeit und Versuchsteil vermutet werden könnte, erreichen die entsprechenden F -Tests nicht das Niveau der Signifikanz. Für den Faktor Primäraufgabenschwierigkeit ergibt sich $F(1.682, 62.219) = 3.129, p = .059$ und für den Faktor Versuchsteil $F(1, 37) = .395, p = .534$.

Das Fehlerbild zeigt sich ein wenig differenzierter. Es ist im Versuchsteil *Zahlen* zwischen den Primäraufgabenschwierigkeiten scheinbar homogener als im Versuchsteil *Symbole*. Dennoch ist anhand der Varianzanalyse über die Primäraufgabenvarianten hinweg kein gerichteter Einfluss der Primäraufgabenvariation begründbar, $F(1.942, 71, 859) = 1.500, p = .230$. Die Variation des Versuchsteils bleibt ebenfalls ohne Auswirkung auf die Dynamik der Fehlerzahl, $F(1, 37) = 2.903, p = .097$.

Räumliche Ortung (Kognitive Ablenkung) – Die Antwortzeiten und die Zahl der Antwortfehler in der Zweitaufgabe Räumliche Ortung zeigen sich über die Primäraufgabenschwierigkeiten und Versuchsteile sehr gleichförmig (siehe Anhang A.3.2, Tabelle A.34 und A.35). Obwohl sich bei der Anzahl der Fehler eine Abnahme von der Primäraufgabenbedingung einfach (P...-B7) nach schwer (P...-U5) ausmachen lässt, muss eine systematische Primäraufgabenwirkung auf die Zahl der Antwortfehler verneint werden, nicht zuletzt, weil das Fehleraufkommen insgesamt sehr niedrig und deshalb ohne mathematische Relevanz war, $F(1.542, 57.043) = 2.001, p = .154$. Ähnlich verhält es sich beim Parameter Antwortzeit. Die Antwortzeitmittelwerte liegen bei allen drei Primäraufgabenbedingungen ungefähr gleich auf. Der F -Test bleibt unterhalb der Signifikanzgrenze, $F(2, 74) = .410, p = .665$. Kongruent dazu verhält sich der Faktor Versuchsteil. Zwar ist ein minimaler Antwortzeitunterschied zwischen den Versuchsteilen erkennbar. Dass dieser jedoch rein zufällig entstanden sein könnte, kann mit Hilfe der varianzanalytischen Prüfung nicht widerlegt werden, $F(1, 37) = 3.950, p = .054$. Bezogen auf die Fehlerzahl ist ebenfalls kein Unterschied zwischen den Versuchsteilen identifizierbar, $F(1, 37) = .004, p = .947$.

Gedächtnissuche (Kognitive Ablenkung) – Die Auswertung der Leistungsdaten der Zweitaufgabe Gedächtnissuche fügt sich in das Ergebnisbild der Zweitaufgaben Logisches Schließen und Räumliche Ortung. Die statistische Kennzeichnung der Messwerte ist im Anhang A.3.2 in den Tabellen A.36 (Antwortzeit richtiger Antworten) und A.37 (Anzahl Antwortfehler) jeweils getrennt nach Versuchsteil dokumentiert. Weder die Manipulation der Primäraufgabenschwierigkeit noch die Unterscheidung in einen Versuchsteil mit zahlenbasierter und einen Versuchsteil mit symbolbasierter Ausfahrtbeschriftung wirkte gerichtet auf die Antwortzeit (Faktor Primäraufgabenschwierigkeit: $F(1.925, 71.231) = 2.840, p = .067$; Faktor Versuchsteil: $F(1, 37) = .154, p = .697$) und die Zahl der Antwortfehler dieser Zweitaufgabe (Faktor Primäraufgabenschwierigkeit: $F(1.866, 69.048) = .678, p = .501$; Faktor Versuchsteil: $F(1, 37) = .126, p = .724$).

Tabelle 4.29

Korrelation der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz im Versuchsteil Zahlen, operationalisiert über die Entscheidungszeiten sowie über die Anzahl von Entscheidungsfehlern ($p < .05$)*

	Entscheidungszeit	Entscheidungsfehler
TI	.350	.402
Entscheidungszeit		.547*

Vergleich der Dekrementprognose mit den gemessenen Dekrementen

In den Tabellen 4.29 und 4.30 sind die nicht parametrischen Korrelationen (Spearman's ρ) zwischen der prognostizierten Rangfolge der Ablenkungswirkung der Versuchsbedingungen und der experimentell erhobenen Rangfolge abgetragen. Bei beiden Versuchsteilen ergeben sich im Parameter Entscheidungsfehler schwach positive Korrelationen zwischen der Interferenzprognose und den gemessenen wechselseitigen Störungen zwischen Primär- und Zweitaufgaben. Im Versuchsteil *Zahlen* korrelieren darüber hinaus auch die Rangreihen der Entscheidungszeit von Prognose und Messdaten schwach positiv. Dennoch kann nicht von einer belegten Passung zwischen der Prognose durch das *Computational Model of Task Interference* und den Messergebnissen gesprochen werden, da keine der Korrelationen signifikant ist. Im Versuchsteil *Zahlen* zeigt sich außerdem ein signifikanter korrelativer Zusammenhang der Versuchsbedingungsreihen des Parameters Entscheidungszeit und des Parameters Entscheidungsfehler.

Tabelle 4.30

Korrelation der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenz im Versuchsteil Symbole, operationalisiert über die Entscheidungszeiten sowie über die Anzahl von Entscheidungsfehlern

	Entscheidungszeit	Entscheidungsfehler
TI	-.011	.317
Entscheidungszeit		.342

4.4.4 Diskussion

Mit dem dritten Versuch sollte – operationalisiert anhand von Entscheidungszeiten und Entscheidungsfehlern bei einer einfachen Navigationsanforderung – kognitive Ablenkung in robuster Abgrenzung zu visueller Ablenkung gemessen werden. Dazu wurde bezogen auf die Wahrnehmungs- und Handlungsantwortprozesse der Aufgabenbearbeitung bewusst vom klassischen Doppelaufgabenparadigma abgewichen, indem die Reizaufnahme und Antwortausführung beider Aufgaben jeweils nacheinander statt überlappend erfolgte. Visuelle und kognitive Ablenkung wurde durch eine Auswahl der aus den ersten beiden Versuchen bekannten Zweitaufgaben eingebracht. Die Ergebnisse weisen keine ablenkungstypspezifischen Auswirkungen auf die abhängigen Variablen aus. Die zentrale Untersuchungshypothese des dritten Versuchs konnte nicht bestätigt werden.

Allgemeine Untersuchungshypothese – Wirkung der Zweitaufgabe auf die Primäraufgabe – Für die Beurteilung der Haupthypothese H 1 des dritten Versuchs wurden wie bereits bei den Versuchen 1 und 2 Hilfhypothesen aufgestellt, die Aussagen über die Messergebnisse der abhängigen Variablen Entscheidungszeit (Hypothese H 1.1) und Navigationsfehler (Hypothese H 1.2) treffen. Das sehr verrauschte, unspezifische und somit in seiner Qualität über alle Zweitaufgaben-

bedingungen hinweg sehr homogene Datenbild der Entscheidungszeiten enttäuscht. Es zeigten sich nicht die erhofften großen Entscheidungszeitunterschiede zwischen den betont visuell und den provoziert kognitiv ablenkenden Versuchsbedingungen. Die durchaus in Abbildung 4.15 ansatzweise erkennbaren Mittelwertspitzen und -täler bilden zum Ersten eine zu geringe absolute Differenz und werden zum Zweiten durch die große Schwankungsbreite der Einzelmesspunkte zu deutlich überlagert, als dass sich ein belastbarer Trend daraus ableiten ließe. Zudem zeigen sich diese relativen Mittelwertaussparungen der einzelnen Zweitaufgabenbedingungen zueinander nicht übereinstimmend bzw. mit der erforderlichen Stabilität über die Variation der Primäraufgabe. Der knapp signifikante F -Test des Haupteffektes des Faktors Versuchsbedingung bzw. Zweitaufgabe auf das Zustandekommen der Entscheidungszeiten gleich welcher Analyse- bzw. Aggregationsebene (siehe Tabelle 4.27 und Tabelle 4.28) könnte aus diesem Grund auch ein Artefakt darstellen. Insbesondere die Tatsache, dass die entsprechende Kontroll- F -Tests mit Berücksichtigung der Bedingung Baseline der Primäraufgabe unterhalb der Signifikanzgrenze bleibt, sorgt für erhebliche Probleme bei der Argumentation für einen tatsächlich existenten differenzierten Ablenkungseffekt, der sich in Entscheidungszeitunterschieden äußert. Der Einbezug der Baseline-Bedingung sollte Doppelaufgabendeckremente eher betonen bzw. eher hervortreten lassen denn verwässern, wie im vorliegenden Fall. Für die Hypothese H 1.1 bedeutet dies, dass die darin aufgestellte Behauptung nicht aufrecht erhalten werden kann. Die Versuchsbedingungen mit kognitiver Zusatzlast führten in der Zusammenschau der drei Primäraufgabenvarianten nicht zu größeren Entscheidungszeiten als die Versuchsbedingungen mit einem zusätzlichen visuellen Ablenkungsanteil. Ebenso findet sich die behauptete Größenbeziehung der visuell ablenkenden Zweitaufgaben Visuelle Suche einfach (Z-V1) und Visuelle Suche schwer (Z-V2) nicht in den Daten wieder.

Das in der Hypothese H 1.2 vorhergesagte Fehlerbild bei der Primäraufgabenbearbeitung stellte sich nur im Versuchsteil 2 (Symbole) ein und dort weniger prägnant als a priori formuliert. Bis auf die Aufgabe Räumliche Ortung (Z-R) verursachten tatsächlich die als kognitiv ablenkend geltenden Zweitaufgaben absolut mehr Fehler als beide Teilaufgaben der visuellen Suche (Z-V1, Z-V2). Unterlaufen wird dieser hypothesenkonforme Trend wiederum durch die Einzelaufgabenbedingung Baseline der Primäraufgabe (P-B), deren Absolutfehlerzahl leicht höher lag als bei den Doppelaufgaben der Visuellen Suche (Z-V1, Z-V2). Im Versuchsteil 1 (Zahlen) widerspricht die Dynamik des Parameters Anzahl Navigationsfehler den Aussagen der Hypothese H 1.2. Zwar traten die meisten Fehler in einer kognitiven Ablenkungsbedingung auf (Z-Z), die visuellen Doppelaufgabenbedingungen lagen bezogen auf diesen Parameter aber mitnichten unter den kognitiven. Die Zweitaufgabe Z-V2 verursachte im Versuchsteil 1 (Zahlen) sogar das zweitgrößte Fehleraufkommen. Generell gilt, dass die Fallzahlen der Navigationsfehler äußerst klein sind. Zuverlässige Aussagen lassen sich davon nur bedingt ableiten. Werden die Versuchsteile 1 und 2 zusammen betrachtet, lässt sich auch die Hypothese H 1.2 nicht halten. Eindeutig kann auch hier der behaupteten relativen Anordnung der visuell ablenkenden Versuchsbedingungen zueinander widersprochen werden. Die schwere visuelle Suche (Z-V2) ging nicht mit mehr Navigationsfehlern einher als die einfache Variante (Z-V1).

Mit der Ablehnung der Teilhypothesen H 1.1 und H 1.2 fällt die Haupthypothese H 1. Unabhängig vom Versuchsteil (Zahlen vs. Symbole) und ebenso systematisch unbeeinflusst von der Primäraufgabenschwierigkeit führte kognitive Ablenkung nicht zu einer schlechteren Primäraufgabenleistung (operationalisiert über Entscheidungszeiten und Navigationsfehler) als visuelle Ablenkung.

Spezielle Untersuchungshypothese – Wirkung der Variation der Primäraufgabe – Die Variation der Primäraufgabenschwierigkeit wirkte tendentiell in der mit der Hypothese H 2 zum Ausdruck gebrachten Weise. Allerdings zeigten sich die Primäraufgabentypen nicht in der Form dual wie vermutet. Die Bekanntgabe des Navigationsziels vor der Bearbeitung der Zweitaufgabe führte nicht automatisch zu absolut besseren Primäraufgabenleistungen als bei experimentell eingesteuerter Unklarheit über das Navigationsziel (H 2.1). Die Ergebnisse sprechen eher für einen so genannten *Trade off* oder auch für eine Wechselwirkung zwischen diesem und dem in Hypothese H 2.2 verankerten Faktor *Anzahl Ausfahrten*. Zwar wurde in den Bedingungen P-...-B7 die Zie-

lausfahrt frühzeitig bekannt gegeben, gleichzeitig wurde aber hier die Maximalzahl von sieben Ausfahrten appliziert. Liegt die Anzahl der einzuprägenden Ausfahrten bei einem eher kleinen Wert – in diesem Fall drei (P-...-U3) –, fällt die Primäraufgabenleistung trotz zunächst unbekannter Zielausfahrt besser aus. Erst in der Primäraufgabenfassung mit fünf Ausfahrten (P-...-U5) überstrahlt der Faktor *Anzahl Ausfahrten* den Faktor *Kenntnis der Zielausfahrt*. Gleichwohl bleibt ungeklärt, ob dieser Effekt auf den kognitiven Prozess der Präsenhaltung der Kreisverkehrkonstellation zurückzuführen ist oder ob es sich dabei nicht vielmehr um einen reinen Effekt der erschwerten Orientierung bei der Ausführung der Handlungsantwort handelt. Schließlich folgt bei der Navigation durch einen Kreisverkehr mit sieben Ausfahrten in den Bedingungen P-...-B7 Ausfahrt auf Ausfahrt, was zu einer gewissen Orientierungslosigkeit führen kann. Zu dieser Erkenntnis gelangte auch Burns (1998, S. 214):

„People will have more trouble finding their way when the route choices are complex. Consequently, a roundabout with six exits would be more difficult than a roundabout with four exits.“

Dennoch wird die spezielle Untersuchungshypothese H 2 aufrecht erhalten und nicht verworfen. Mit zunehmender Primäraufgabenschwierigkeit sinkt die Primäraufgabenleistung. Lediglich die Bestimmungsstücke des Konstrukts Schwierigkeit wurden in diesem Fall falsch antizipiert. Gleichwohl ist der Neuigkeitswert dieser Hypothesenbestätigung sehr gering. Die Schlussfolgerungen zum Einfluss der Primäraufgabenschwierigkeit überraschen natürlich nicht, sie helfen aber durchaus dabei, der Primäraufgabe trotz der enttäuschenden Befunde zu Hypothese H 1 eine gewisse Diagnostizität zuzugestehen.

Leistungsdynamik der Zweitaufgaben – Die Leistungen der Versuchspersonen in den Zweitaufgaben zeichnen ein sehr homogenes Bild über die Eigenschaften und Auswirkungen aller verwendeten ablenkenden Zusatzaufgaben. Alle Zweitaufgaben, sei es die der visuellen oder die der kognitiven Ablenkung, blieben unbeeinflusst von den Unterschieden zwischen den Versuchsteilen (Zahlen vs. Symbole) und ebenso robust gegenüber der Variation der Primäraufgabenschwierigkeit. Über diese variierten Dimensionen der Experimentalsituation hinweg zeigten die Probanden sehr stabile und konstant ausgeprägte Zweitaufgabenleistungen, das heißt diese Faktoren waren keine Quelle von differenzierten Doppelaufgabendekrementen zulasten der Zweitaufgabe. Lediglich die Variation der Zweitaufgabenschwierigkeit, also der Kerneigenschaft der Aufgabe selbst, veränderte die Leistung in dieser Aufgabe. Das zeigen die Stufen der visuellen Ablenkung Z-V1 und Z-V2 sehr deutlich. Auch dieses Ergebnis überrascht nicht.

Interpretation der Befunde und Schlussfolgerungen für die Anschlussuntersuchung

Mit dem beschriebenen Versuchsaufbau wurde das Ziel der zuverlässigen Messung kognitiver Ablenkung nicht vollständig erreicht. Die kritische Betrachtung methodischer und inhaltlicher Gesichtspunkte des dritten Versuchs soll Erklärungen dafür liefern und die Ableitung von erfolgversprechenden Anpassungen für den vierten Versuch befördern.

Operationalisierung kognitiver Ablenkung anhand von Entscheidungszeiten und Entscheidungsfehlern – Die Ablenkungseffekte wurden in diesem Versuch mit Hilfe von Entscheidungszeiten und der Anzahl von Entscheidungsfehlern operationalisiert. Insbesondere das über alle Zweitaufgabenbedingungen hinweg sehr indifferente Entscheidungszeitbild lässt an der Eignung dieses Maßes Zweifel aufkommen. Durch die ablenkende Zweitaufgabe sollte eine Unsicherheit über das anzusteuern Navigationsschritte in der Art fortgepflanzt, dass die Navigationsentscheidungen zögerlicher, das heißt mit größerem zeitlichen Abstand erfolgten. Es fand kein zweitaufgabenspezifischer Transfer zwischen Entscheidungsunsicherheit und Entscheidungszeit statt. Dass Entscheidungs- bzw. Reaktionszeiten ein sensibles Maß für kognitive Ablenkung sind, zeigt beispielsweise eine Untersuchung von Bellinger et al. (2009) zum Telefonieren während der Fahrt. Ihre Probanden bremsen

signifikant später als in Situationen ohne kognitive Zusatzlast. Bei Hancock et al. (2003) zeigte sich bei einer Heranfahrt an eine rote Ampel ebenfalls, dass kognitive Ablenkung zu späterem Bremsen führt. Einen weiteren Beleg für eine vergrößerte Bremsreaktionszeit unter kognitiver Ablenkung liefern Lamble, Kauranen, Laakso und Summala (1999). In den ersten Versuchen dieser Arbeit wurde ebenso eine Vergrößerung der Reaktionszeit unter kognitiver Beanspruchung sichtbar. Diesen Aufgabenkonstellationen ist jedoch gemein, dass sie, wie im Abschnitt 3 kritisiert wurde, Ablenkung in Form einer unmittelbaren Verhaltensantwort auf der Bahnführungsebene operationalisieren. Dieses Zeitmaß der unmittelbaren Reaktion ist möglicherweise von anderer Qualität als das hier verwendete Zeitmaß einer proaktiven Navigationsentscheidung, die nicht auf einem unerwarteten Stimulus aufsetzt.

Im Rahmen der Versuchsauswertung wurden weitere Entscheidungszeitvarianten berechnet, um den Transfer zwischen Ablenkung und Entscheidungszeit über die versuchsimmanente Pause (Versuchsabschnitt B in Abbildung 4.13) hinweg deutlicher hervortreten zu lassen. So wurden beispielsweise nur die Entscheidungszeiten der Einfahrt in den Kreisverkehr betrachtet oder nur die jeweils letzte Entscheidungszeit der Ausfahrt aus dem Kreisverkehr untersucht. Dabei ergaben sich ebenfalls keine stabilen Zweitaufgabeneffekte im Sinne der Untersuchungshypothese. Gleichwohl weisen die signifikanten Entscheidungszeitunterschiede zwischen den Primäraufgabenschwierigkeiten darauf hin, dass sich die Variation der Versuchsanforderung durchaus in der Entscheidungszeit niederschlägt und somit nicht von einer bedingungsunabhängigen individuell konstanten Entscheidungszeit ausgegangen werden kann. Deshalb wird auch im Folgeversuch an der Erfassung der Entscheidungszeit festgehalten, auch wenn dieser Parameter – um eine Varianz aufzuweisen – die oben angesprochene Unmittelbarkeit der Verhaltensantwort erfordert, wie sie charakteristisch für die Stabilisierungs- und die Bahnführungsebene ist.

Das Fehlerraten kommen stand in einer gerichteten Abhängigkeit von der Zweitaufgabenvariation. Möglicherweise sind Entscheidungszeiten und Fehlerraten unterschiedlich gut geeignet, Typen von Ablenkung abzubilden. Baumann et al. (2006) schlagen eine Parameterdifferenzierung bei der Erfassung von visueller und kognitiver Ablenkung vor. Im Rahmen ihrer Bemühungen zur Entwicklung einer Methode für die Messung von Ablenkung haben sie versucht, Ablenkungstypen mit Hilfe einer Wahlreaktionsaufgabe differenziert zu erfassen. Dabei galt der quantitative Parameter Entdeckungsrate (Wurde der Zielreiz gesehen?) als Maß für visuelle Ablenkung. Das qualitative Maß der Trefferrate (Wurde auf den Reiz richtig reagiert?) sollte demgegenüber Auskunft über kognitives Abgelenktsein geben. In einer ersten Validierungsstudie konnten Baumann et al. (2006) die Gültigkeit der Entdeckungsrate als Maß für visuelle Ablenkung bestätigen, ein Ergebnis, das auch in Versuch 2 dieser Arbeit zu verzeichnen war (siehe Tabelle 4.18 der Anzahl verpasster Reaktionen auf Seite 80). Die Sensitivität der Trefferrate für kognitive Beanspruchung konnte von Baumann et al. (2009) ebenfalls gezeigt werden. Dieser Befund widerspricht jedoch den Ergebnissen des zweiten Versuchs dieser Arbeit (siehe Tabelle 4.17 der Anzahl falscher Reaktionen auf Seite 80). Die visuell ablenkenden Zweitaufgaben führten zu signifikant mehr Falschreaktionen (geringere Trefferrate) als ihre kognitiv ablenkenden Gegenstücke, obwohl die jeweils als nächstes geforderte Reaktion vollständig determiniert war. Im hier diskutierten dritten Versuch dieser Arbeit weist der Parameter Entscheidungsfehler indessen tendenziell in die unterstellte Richtung. Vor allem die zum Teil sehr deutlichen absoluten Unterschiede der Anzahl von Entscheidungsfehlern zwischen ausgewählten Versuchsbedingungen der visuellen und der kognitiven Ablenkung (z. B. 3 bzw. 2 falsch gelöste Navigationsaufgaben unter visueller Ablenkung [Z-V1, Z-V2] bei der schweren Primäraufgabe [P-S-U5] im Versuchsteil Symbole gegenüber 9 falschen Navigationsaufgaben unter kognitiv ablenkendem Zählen [Z-Z] in der gleichen Primäraufgabenausprägung) lassen auf einen robusten Trend hoffen, an den im nachfolgenden angeknüpft werden soll. Im vierten Versuch dieser Arbeit wird deshalb ein größeres Augenmerk auf die Erhebung von Fehlerdaten gelegt.

Einfluss der Primäraufgabenschwierigkeit – Den Versuchspersonen stand ein Zeitfenster von 8000 ms für das Einprägen des Kreisverkehrs zur Verfügung. Nach der Bearbeitung der Zweitaufgabe wurde für die Dauer von 5000 ms der Straßenabschnitt C dargeboten (siehe Abbildung 4.13), der keinerlei Aktivität der Versuchsperson erforderte. Die Probanden hatten somit aus-

reichend Zeit, den einzuprägenden Kreisverkehr umfassend mental zu elaborieren, wodurch die Gedächtnisleistung befördert wird (vgl. Brown-Petersen-Paradigma der Abhängigkeit der Gedächtnisleistung von der inneren Wiederholung/*Rehearsal*, z. B. in Wickens & Hollands, 2000). Im Anschluss wurde die Zielausfahrt für die Dauer von weiteren 5000 ms dargeboten. Diese Realisierung wurde gewählt, um die visuelle Verarbeitung der Primäraufgabe zu befördern. Unter dem Gesichtspunkt der visuellen Verarbeitung sollte die Primäraufgabe so einfach und unaufdringlich wie möglich gehalten werden, da die Messung kognitiver Effekte im Vordergrund stand. Gleichwohl konnten die Versuchspersonen während dieser Zeit ohne besonderen Zeitdruck einen kognitiven Handlungsplan für ihre Fahrt durch den Kreisverkehr bilden. Kognitive Verarbeitungsprozesse wurden gleichfalls – kontraproduktiv – vereinfacht. Darin könnte eine weitere Begründung dafür liegen, dass sich eine etwaige Entscheidungsunsicherheit nicht in größere Entscheidungszeiten übertragen hat.

In der Versuchswiederholung sollte daher durch die Verkürzung der genannten Versuchssphasen der Schwierigkeitsgrad der Primäraufgabe angehoben werden. Damit wird Band, Jolicœur, Akyürek und Memelink (2006) Rechnung getragen, die betonen, dass Verarbeitungsgrenzen erkenntnistheoretisch äußerst bedeutsam für die kognitive Psychologie sind. Nach Ansicht der Autoren reagieren nur Prozesse, die limitiert sind auf eine experimentelle Variation. Informationsverarbeitungsprozesse ohne entsprechende Grenzen können in jedem Zustand beeinträchtigungsfrei vollzogen werden. Sie offenbaren keine Dynamik, die durch eine Messmethode greifbar wäre. Allein deshalb wurden laut Band et al. (2006) experimentelle Paradigmen entwickelt, die die Kosten einer Doppelaufgabenbearbeitung maximieren. Durch die Vergrößerung der Primäraufgabenschwierigkeit soll diese Maximierung durch Grenzbildung erreicht werden, um Doppelaufgabeneffekte auch mit dem gewählten Zugang der Parallelbearbeitung – streng genommen ein Widerspruch – greifbar zu machen. Dass eine schwere Primäraufgabenvariante geeignet sein könnte, zwischen visueller und kognitiver Ablenkung zu trennen, zeigt die bereits angesprochene große Varianz der Navigationsfehler in der Primäraufgabenausprägung P...-U5 (siehe Abbildung 4.18).

Beschriftung der Ausfahrten mit Zahlen und Symbolen – Die Aufspaltung des Versuchs in einen Teil *Zahlen* und einen Teil *Symbole* folgte keiner theoriegeleiteten Hypothese. Ausschlaggebend dafür war vielmehr Wickens' Grenzziehung zwischen einer kognitiv-räumlichen (*Cognitiv spatial, Cs*), also einer eher visuellen, und einer kognitiv-verbalen (*Cognitiv verbal, Cv*) Ressource der menschlichen Informationsverarbeitung (Wickens, 2002). In diesem Punkt lehnt er sich an das Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (1986) an. Wie weiter oben bereits erwähnt wurde, sollten diese beiden Ressourcen bzw. Arbeitsgedächtniskomponenten durch die Wahl des vordergründig passenden Reizmaterials angesprochen werden. Die Beschriftung mit Zahlen zielte auf den *Phonological Loop*. Die Symbole sollten vornehmlich das *Visual Spatial Scratch Pad* beanspruchen. Tatsächlich sind die genauen Informationsverarbeitungsprozesse insbesondere des *Visual Spatial Scratch Pads* noch nicht im Detail verstanden (Baddeley, 2002). Es ist vielmehr wahrscheinlich, dass in diesem Versuch zwischen zahlen- und symbolbasiertem Reizmaterial während der Memorierungsphase Transformations- bzw. Umkodierungsprozesse stattgefunden haben, die einem *Mapping* des Reizmaterials auf die Ressourcen – wie auch im *Computational Model* hinterlegt – zuwider laufen. So ist denkbar, dass die dargebotenen Symbole in Wortmarken überführt wurden, deren Gedächtnisspur dann durch den Prozess des *Subvocal Rehearsals* (vgl. Baddeley, 1986) aufrecht erhalten wird. Im umgekehrten Fall kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Zahlenmaterial während des Versuchsdurchgangs rein grafisch im Arbeitsgedächtnis hinterlegt wurde. Aufgrund der oben erwähnten offenbar guten Differenzierungsfähigkeit des Parameters Entscheidungsfehler zwischen den visuellen und kognitiven Zweitaufgaben im Versuchsteil *Symbole* (siehe Abbildung 4.18), werden im vierten Versuch die Kreisverkehrausfahrten ausschließlich mit Symbolen markiert.

Zusammenfassung

Im dritten Experiment wurde der Versuch unternommen, mit Hilfe einer einfachen Navigationsaufgabe kognitive Ablenkung getrennt von visueller Ablenkung zu erfassen. Um eine Vermischung der perzeptiven und handlungsantwortbezogenen Prozesse der Primäraufgabe und der Zweitaufgaben zu vermeiden, wurde ein sequentieller Zugang der Aufgabenbearbeitung gewählt, in dem sich lediglich die im Untersuchungsfokus stehenden kognitiven Prozesse beider Aufgaben zeitlich überlappten. Dabei zeigten sich die Entscheidungszeiten für die Durchführung der einzelnen Navigationsschritte unbeeinflusst von der Variation der ablenkenden Zweitaufgaben. Die Anzahl von Entscheidungsfehlern deutet indessen tendenziell in die Richtung der mit der Kernhypothese dieses Versuchs unterstellten Unterscheidbarkeit beider Ablenkungstypen. Im vierten Versuch dieser Arbeit sollen die identifizierten Stellgrößen für eine Messung von kognitiver Ablenkung (Primäraufgabenschwierigkeit, Beschriftungstyp der Kreisverkehrausfahrten, potenzielle Datenbasis für Entscheidungsfehler) akzentuiert werden.

4.5 Versuch 4 – Erfassung kognitiver Ablenkung mit angepasster Messmethode

4.5.1 Einführung

Für den vierten Versuch wird die Arbeitshypothese aus Versuch 3 übernommen und insofern konkretisiert, dass kognitive Ablenkungseffekte nun aufgrund einer anzustrebenden experimentellen Zuspitzung der Primäraufgabenanforderung klarer hervortreten sollen. Weiterhin soll die Datenbasis durch mehrfache Wiederholung der Versuchsbedingungen verbreitert werden. Zudem soll die alleinige Verwendung von Symbolen als Mittel der Ausfahrtbeschriftung die Sensitivität für die zu messenden kognitiven Effekte erhöhen, da zum einen davon ausgegangen wird, dass die interne Verarbeitung von Symbolen das Arbeitsgedächtnis ganzheitlich fordert und zum Zweiten das Navigationsfehlerbild des dritten Versuchs auf eine größere Differenzierungsfähigkeit zwischen visuellen und kognitiven Zweitaufgaben des Versuchsteils *Symbole* hindeutet. Nicht zuletzt soll mit diesem letzten Versuch auch ein erster Transfer zu einer Realweltanwendung der Methode vollzogen werden, indem das Zweitaufgabenportfolio um echte Fahrzeugbedienaufgaben ergänzt wird. Dieser Versuch wurde in seinen Grundzügen bereits von Meinel und Krauß (2008) berichtet.

4.5.2 Methode

Stichprobe

Der vierte Versuch wurde von 26 Probanden bearbeitet, die in überwiegender Zahl männliche Studenten der Ingenieurwissenschaften waren. Sie wurden auch hier aus der Gruppe der Praktikanten, Diplomanden, Doktoranden und Mitarbeiter der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG rekrutiert. Die Teilnahme war freiwillig. Eine Kompensation erfolgte nicht. Die zentralen Stichprobeneigenschaften sind in der Tabelle 4.31 dokumentiert.

Tabelle 4.31
Stichprobeneigenschaften des vierten Versuchs

<i>N</i>	Alter			Geschlecht	
	min.	max.	<i>Mdn</i>	männlich	weiblich
26	23	38	26	23	3

Material

Primäraufgabe – Im Grundsatz entsprach die Primäraufgabe dem in Versuch 3 ab Seite 87 beschriebenen Prinzip und Aufbau. Gleichwohl wurden einige Modifikationen vorgenommen, um die unterstellten Ablenkungswirkungen stärker herausarbeiten und in stabile Messeffekte überführen zu können. Die Grundidee bestand nun darin, die Primäraufgabe auf der Zeitachse maximal, das heißt auf das für eine sichere Bearbeitung erforderliche zeitliche Mindestmaß zu verdichten. Die Darbietungszeit für die einzuprägende Kreisverkehrskonstellation wurde begrenzt (siehe unten). Darüber hinaus wurde der in Versuch 3 mit C markierte fünfsekündige Versuchsabschnitt ohne jegliche Anforderung an den Probanden (siehe S. 88) entfernt. Die Darbietungszeit der Zielausfahrt (Primäraufgabenabschnitt D, vgl. Seite 88) wurde gegenüber 5000 ms im dritten Versuch auf 500 ms in diesem Versuch begrenzt. Ferner ist die Limitierung der Entscheidungszeit von 5000 ms für jeden Navigationsschritt verworfen worden. Die Versuchspersonen konnten sich beliebig viel Zeit lassen, obschon mittels Instruktion darauf gedrungen wurde, so

schnell wie möglich durch den Kreisverkehr zu navigieren. Weiterhin ist auf die Variation der Primäraufgabe verzichtet worden. Es wurde lediglich eine Variante mit fünf durch Symbole beschriftete Ausfahrten verwendet, deren Zielausfahrt während der Einprägephase nicht bekannt gemacht wurde. Damit entsprach die verwendete Primäraufgabe im Wesentlichen der schweren Variante aus Versuch 3 (P-S-U5, vgl. Seite 90).

Vorversuch: Bestimmung homogener Kreisverkehrskonstellationen – Da die Primäraufgabe in diesem Versuch genau an der individuellen Leistungsgrenze appliziert werden sollte, musste zunächst sichergestellt werden, dass alle Kreisverkehrskonstellationen mit ihren jeweiligen Symbolmarkierungen einen vergleichbaren Schwierigkeitsgrad aufweisen. Dazu musste in erster Linie ein homogener Memorierungsaufwand der je Kreisverkehr verwendeten Symbole gewährleistet werden. Die Symbole sollten sich wechselseitig in ähnlicher Weise voneinander differenzieren. Damit sollte verhindert werden, dass einige Kreisverkehre aufgrund sehr klar voneinander unterscheidbarer Symbole leichter zu merken sind als andere, bei denen sich die Symbole sehr ähnlich sind. Einzelne Symbole oder Symbolkonstellationen sollten nicht markanter sein als andere.

Aus 14 willkürlich entworfenen Einfachsymbolen wurden alle kombinatorisch möglichen 91 Symbolpaare gebildet. Insgesamt 34 Beurteiler bewerteten in drei Gruppen im vollständigen Paarvergleich die Ähnlichkeiten von jeweils 30 bzw. 31 zufällig den drei Gruppen zugeordneten sowie innerhalb der Gruppen zufällig dargebotenen Symbolpaaren (Gruppe 1: $N = 11$, 30 Symbolpaare; Gruppe 2: $N = 10$, 30 Symbolpaare; Gruppe 3: $N = 13$, 31 Symbolpaare) auf einer fünfstufigen Likert-Skala, bei der ein Wert von 1 *keine Ähnlichkeit der beiden Symbole* und 5 *große Ähnlichkeit der beiden Symbole* bedeutete. Symbolpaare, deren Ähnlichkeitsbewertung nicht signifikant kleiner als 3 war, wurden im Hauptversuch nicht verwendet. Das bedeutet, keine der Kreisverkehrskonstellationen enthielt diese beiden Symbolbeschriftungen. Vier Symbole wurden verworfen, weil sie maßgeblich zu denjenigen Symbolpaare führten, die dem Ausschlusskriterium entsprachen. Die Abbildung 4.19 zeigt die Symbolsammlung vor und nach der Homogenitätsbestimmung. Die vollständigen Ergebnisse des Paarvergleichs finden sich im Anhang A.4.1.

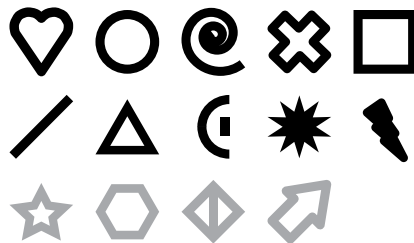


Abbildung 4.19. In Versuch 4 zur Beschriftung der Ausfahrten verwendete Symbole. Die grau dargestellten Symbole wurden nach dem Vorversuch verworfen.

Artifizielle Zweitaufgabe Visuelle Suche (visuelle Ablenkung) – Visuelle Ablenkung ist auch in diesem Versuch in zwei Schwierigkeitsstufen (einfach vs. schwer) mit Hilfe der visuellen Suchaufgabe aus Versuch 1 appliziert worden. Die Aufgabedetails sind im Abschnitt 4.3.2 auf der Seite 70 beschrieben.

Artifizielle Zweitaufgabe Logisches Schließen (kognitive Ablenkung) – Für das Einbringen kognitiver Ablenkung anhand einer Zweitaufgabe mit hoher interner Validität wurde erneut der Schlussfolgerungstest aus Versuch 1 in seiner einfachen Variante verwendet. Für die detaillierte Aufgabenbeschreibung sei auch hier auf Versuch 1 verwiesen (siehe Abschnitt 4.2.2, Seite 43).

Reale Zweitaufgabe Listensuche (visuelle Ablenkung) – Um die externe Validität der Ablenkungsmechanismen und -effekte prüfen zu können, sollten im vierten Versuch neben den nunmehr hinlänglich bekannten artifiziellen Zweitaufgaben auch reale BediENAufgaben betrachtet werden. Dafür stand ein vollständig funktionsfähiges Fahrerinformationssystem, eine so genann-

te *Head Unit*, zur Verfügung wie sie in Porsche Fahrzeugen der Baureihen 997 und 987 seit dem Modelljahr 2007 angeboten wird. An diesem Porsche Communication Management (PCM) der Generation 3.0 (im Folgenden PCM 3.0) wurde eine im Kern visuell beanspruchende und eine hauptsächlich kognitiv fordernde Zweitaufgabe realisiert.

Das PCM 3.0 besitzt einen berührungsempfindlichen Bildschirm (Touch Screen) mit einer diagonalen Ausdehnung von 6.5 Zoll. Zusätzlich verfügt das Gerät rechts unterhalb des Bildschirms über einen Dreh-Drück-Steller. Touch Screen und Dreh-Drück-Steller sind vollständig parallel benutzbar. Jede Bedienhandlung ist sowohl durch Berührung der Interaktionselemente auf den Bildschirm als auch durch Positionierung eines Fokuselementes (*Cursor*) über dem Interaktionselement des Bildschirms mit Hilfe der Drehstellerfunktion des Dreh-Drück-Stellers und anschließender Auswahl oder Aktivierung des Interaktionselements durch Drücken des Dreh-Drück-Stellers möglich. Unterhalb des Bildschirms befanden sich echte Tasten (Hard Keys) für den Wechsel zwischen den Hauptfunktionen des PCM 3.0. Die Benutzung dieser Tasten war für die Bearbeitung der realen Zweitaufgabe Routenplanung erforderlich (siehe unten).

Die reale visuell ablenkende Zweitaufgabe wurde ebenso wie ihr artifizielles Gegenstück als visuelle Suche konzipiert. In einer Liste von 200 zufällig angeordneten Ortsnamen mit einer Wortlänge zwischen jeweils drei und sechs Buchstaben sollte pro entsprechender Versuchsbedingung eine der Städte *Bebra*, *Brake*, *Daun*, *Naila* oder *Oelde* gefunden und durch Antippen oder Anklicken ausgewählt werden.

Reale Zweitaufgabe Routenplanung (kognitive Ablenkung) – Um die Versuchspersonen kognitiv von der Primäraufgabe abzulenken, wurde eine komplexe Bedienaufgabe konstruiert, die aus der Lösung von zwei Teilproblemen mit Hilfe des PCM 3.0 bestand. Im ersten Schritt sollte das Navigationssystem des PCM 3.0 mit einer der aus der Listensuche bekannten Städte *Bebra*, *Brake*, *Daun*, *Naila* oder *Oelde* als Zielort programmiert werden. Anschließend sollte zu der durch das Navigationssystem automatisch geplanten Route manuell eine Tankstelle als Zwischenziel hinzugefügt werden.

Beide realen Bedienaufgaben (Listensuche, Routenplanung) unterscheiden sich augenscheinlich in ihrem Anforderungsprofil. Die Bearbeitung der Listensuche erfordert keine definierte Bedienalgorithmik. Im Unterschied zur Routenplanung musste keine Abfolge von sequentiellen Bedienschritten mental vorgehalten werden, deren Einhaltung kritisch für die Erfüllung der Aufgabenstellung – der Programmierung eines Navigationsziels – ist. Für die konkurrente Validierung visueller und kognitiver Ablenkung muss dennoch gefordert werden, dass sich die Unterschiede der Messaufgabeneigenschaften stärker als lediglich heuristisch belegen lassen. Dieser Nachweis ist messmethodisch im Rahmen des Doppelaufgabenparadigmas oft nur schwer zu erbringen (z. B. Meinel & Langer, 2007).

Für die beiden Realaufgaben Listensuche und Routenplanung wurde deshalb eine einfache GOMS-Analyse durchgeführt, wie sie bei Kieras (1997) beschrieben ist. Einen Abriss über die GOMS-Analyse geben John und Kieras (1996). Mit Hilfe der GOMS-Analyse konnte die Inanspruchnahme kognitiver Informationsverarbeitungsressourcen durch die beiden Realaufgaben abgeschätzt werden; ein Verfahren, das auch Liang und Lee (2010) herangezogen haben, um die Ablenkungsqualität ihrer Zweitaufgaben auf den Dimension Wahrnehmung und zentrale Verarbeitung zu prüfen. Die Aufgabe Routenplanung erfordert zum Beispiel bei der Stadt *Köln* insgesamt 62 kognitive Operatoren, etwa das Erinnern von Bedienschritten oder von Funktionsbezeichnungen (GOMS-Befehl *Retain* bzw. *retain*). Für die erfolgreiche Bearbeitung der Listensuche genügen beim Beispiel *Köln* dagegen vier kognitive Operatoren. Auf der Dimension der kognitiven Beanspruchung und somit der kognitiven Ablenkung von der Primäraufgabe können beide Aufgaben als qualitativ stark verschieden angesehen werden. Die ausführlichen GOMS-Analysen beider Aufgaben mit der beispielhaft gewählten Stadt *Köln* finden sich im Anhang A.4.1.

Tabellarische Übersicht der Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen

Die Tabelle 4.32 zeigt die Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen des dritten Versuchs, auf die vor allem bei der Ergebnisdarstellung zurückgegriffen wird. Da die Primäraufgabe nicht variiert wurde, wurden für die eindeutige Bezeichnung der Doppelaufgabenbedingungen allein die Kürzel der Zweitaufgabe herangezogen. Mit ihnen ist die jeweilige Doppelaufgabenbedingung hinreichend definiert.

Tabelle 4.32
Kurzbezeichnungen der Versuchsbedingungen

Kurzbezeichnung	Beschreibung
<u>Primäraufgabe</u>	
Baseline	
P-B	Einzelbearbeitung der Primäraufgabe
<u>Artifizielle Zweitaufgaben</u>	
<u>Visuelle Ablenkung</u>	
A-V1	Einfache visuelle Suche (<i>Single Feature Search</i>)
A-V2	Schwere visuelle Suche (<i>Feature Conjunction Search</i>)
<u>Kognitive Ablenkung</u>	
A-K	Logisches Schließen
<u>Reale Zweitaufgaben</u>	
<u>Visuelle Ablenkung</u>	
R-V	Listensuche
<u>Kognitive Ablenkung</u>	
R-K	Routenplanung

Hypothesen

Mit dem vierten Versuch wird das Ziel verfolgt, kognitive Ablenkung von Ablenkung visueller Natur zu trennen. Als Präzisierung des dritten Versuchs dient er wiederum der Abgrenzung mutmaßlicher kognitiver Effekte von visuellen Störungen. Die Grundannahme von Versuch 3 hat somit in Form der allgemeinen Untersuchungshypothese weiterhin Bestand. Ebenso wird die allgemeine Hypothese durch konkrete Aussagen zur variationsabhängigen Ausprägung der Messgrößen *Entscheidungszeit* und *Navigationsfehler* greifbar untersetzt.

Allgemeine Untersuchungshypothese – Wirkung der Zweitaufgabe auf die Primäraufgabe

H 1: In denjenigen Doppelaufgabenbedingungen, in denen den Zweitaufgaben unterstellt wird, hauptsächlich kognitiv ablenkend zu wirken, sind die Entscheidungszeiten und Fehlerraten bei der Primäraufgabenbearbeitung größer als bei denjenigen Zweitaufgaben, die gemäß der Wahl des Versuchsmaterials als hauptsächlich visuell beanspruchend gelten.

H 1.1: *Entscheidungszeiten* – Die Entscheidungszeiten für die Navigationsschritte bei der Kreisverkehrdurchfahrt sind in den Zweitaufgabenbedingungen Logisches Schließen (A-K) und Routenplanung (R-K) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Visuelle Suche (A-V1, A-V2) und Listensuche (R-V). Die Entscheidungszeiten in der Zweitaufgabenbedingung Visuelle Suche schwer (A-V2) sind dabei wiederum größer als in der Bedingung Visuelle Suche einfach (A-V1).

H 1.2: *Navigationsfehler* – Die Anzahl von Navigationsfehlern bei der Kreisverkehrdurchfahrt ist in den Zweitaufgabenbedingungen Logisches Schließen (A-K) und Routenplanung (R-K) größer als in den Zweitaufgabenbedingungen Visuelle Suche (A-V1, A-V2) und Listensuche (R-V). Die Zahl von Navigationsfehlern in der Zweitaufgabenbedingung Visuelle Suche schwer (A-V2) ist dabei wiederum größer als in der Bedingung Visuelle Suche einfach (A-V1).

Zur Beziehung zwischen artifiziellen und realen Zweitaufgaben können keine theoretisch fundierten Vorannahmen getroffen werden. Zu vermuten wäre, dass etwaige Unterschiede eher zwischen den artifiziellen Zweitaufgaben hervortreten als zwischen den Realaufgaben. Ein Kennzeichen künstlicher, laborhafter Anforderungen besteht eben in jener großen Gültigkeit für den eng umrissenen Untersuchungsgegenstand, sofern sie sauber und anforderungsgemäß konstruiert wurden. Realaufgaben enthalten immer einen gewissen Anteil von unkontrollierbaren konstrukt fremden Aspekten, die ihrer Lebensechtheit und Generalisierbarkeit auf reale Situationen geschuldet sind, starken Messeffekten aber unter Umständen zuwider laufen können, weil sie als Fehler wirken.

Die Tabelle 4.33 kennzeichnet die Schwierigkeitswerte der Teilaufgaben des vierten Versuchs, anhand derer die Doppelaufgabeninterferenzen auf der Grundlage der Berechnungsvorschrift des *Computational Model* (Horrey & Wickens, 2003) prognostiziert werden können. Analog zu Versuch 3 werden die Schwierigkeitswerte bei einer Einzelbearbeitung der Aufgaben erläutert und dokumentiert. Für die Berechnung der Doppelaufgabendekremente werden die Beanspruchungswerte der Wahrnehmungs- und Handlungsantwortressourcen indessen neuerlich auf null gesetzt, da Wahrnehmung und Handlungsausführung beider Aufgaben nicht zeitparallel erfolgen.

Tabelle 4.33

Ausmaß der Ressourcenbeanspruchung der Experimentalaufgaben von Versuch 4 auf einer Skala von 0 (keine Beanspruchung) bis 4 (maximale Beanspruchung); Werte in Klammern entsprechen der zu berücksichtigenden Schwierigkeit bei zeitparalleler Aufgabenbearbeitung (Vf: Visual focal, Va: Visual ambient, As: Auditory spatial, Av: Auditory verbal, Cs: Cognitive spatial, Cv: Cognitive verbal, Rs: Response spatial, Rv: Response verbal)

Aufgabe	Ressource (Schwierigkeitswert)							
	Vf	Va	As	Av	Cs	Cv	Rs	Rv
Primäraufgabe								
	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4	3	0 (1)	0 (0)
Artifizielle Zweitaufgaben								
Visuelle Ablenkung								
A-V1	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0	1	0 (0)	0 (1)
A-V2	0 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0	1	0 (0)	0 (1)
Kognitive Ablenkung								
A-K	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (2)	0	2	0 (0)	0 (1)
Reale Zweitaufgaben								
Visuelle Ablenkung								
R-V	0 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0	1	0 (1)	0 (0)
Kognitive Ablenkung								
R-K	0 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2	2	0 (2)	0 (0)

Für diejenigen Aufgaben, die bereits in den Versuchen 1 bis 3 verwendet wurden, wurden die Aufgabenschwierigkeitswerte von entsprechender Stelle unverändert übernommen. Das betraf die artifiziellen Zweitaufgaben Visuelle Suche (A-V1, A-V2) und Logisches Schließen (A-K) sowie die Primäraufgabe, deren qualitative Ausprägung im Grundsatz der Aufgabe P-S-U5 aus Versuch 3 entsprach. Allerdings wurde die zeitliche Taktung der Primäraufgabe verschärft. Die

Aufgabe hat sich vordergründig betrachtet quantitativ verändert. Inwiefern sich derartige Nuancen von Aufgabenunterschieden adäquat im *Computational Model* abbilden lassen, bedarf einer tiefer gehenden Analyse, die auch beinhaltet, ob sich durch die zeitliche Straffung einer Aufgabe ihr Anforderungsprofil, also die Relation der beanspruchten Ressourcen zueinander, verändert. Für die vorliegende Arbeit wurde lediglich die Aufgabenschwierigkeit der maßgeblichen Dimensionen C_s (Cognitive Spatial) und C_v (Cognitive Verbal) numerisch erhöht ($C_s = 4$, $C_v = 3$), wodurch sich aber auch eine leichte Veränderung des Schwierigkeitsprofils der Aufgabe ergibt, da die Beanspruchungswerte der übrigen Dimensionen unverändert blieben. Beiden Realaufgaben wurde mit dem Wert 2 eine vergleichsweise große Inanspruchnahme der fokalen visuellen Ressource zugewiesen. Bei der Listensuche musste unter Zeitdruck nahezu jedes einzelne Wort genau geprüft werden. Abkürzungsstrategien, etwa durch Wortlängeneffekte oder prognostizierbare Positionen des Zielwortes in der Liste, waren nicht gegeben. Bei der Routenplanung hingegen musste der Bildschirminhalt des PCM 3.0 abgesucht werden, um die Interaktionselemente für den nächsten Bedienschnitt ausfindig zu machen. Zusätzlich musste die Dynamik des Bildschirms durch Menüwechsel oder Systemrückmeldungen genau überwacht werden, um adäquat darauf reagieren zu können. Die Realaufgabe der Listensuche beanspruchte darüber hinaus lediglich in geringem Maße die kognitiv verbale Ressource – die Zielstadt musste intern vorgehalten werden – sowie die Ressource für eine räumliche Handlungsantwort – es musste durch die Städteliste geblättert und die Zielstadt ausgewählt werden. Die kognitiv ablenkende Realaufgabe der Routenplanung galt als durchaus markant beanspruchend für die kognitiven Ressourcen. Genau mit diesem Ziel sind sie konstruiert worden. Es musste im Rahmen des Trainings dieser Aufgabe eine mentale Karte der Bedienalgorithmik gebildet werden. Im Arbeitsgedächtnis musste verankert werden, wo sich welches Interaktionselement befindet, das als nächstes auf eine bestimmte Art bedient werden musste, etwa das Drücken einer physikalisch existenten Hauptmenütaste unterhalb des Bildschirms oder das gezielte Auswählen von alternativen Optionen, zum Beispiel des Suchziels der hinzuzufügenden Tankstelle entlang der Route und nicht etwa in der Nähe eines konkreten Ortes. Da davon auszugehen war, dass diese mentalen Operationen nicht nur visuell, sondern auch stark verbal gestützt erfolgten (innerer Monolog), wurde für die Inanspruchnahme der Ressource *Cognitive Verbal* (C_v) ebenfalls der vergleichsweise hohe Wert von 2 zugeordnet. Der bereits erwähnte mehrfache Wechsel zwischen unterschiedlichen Tastenpositionen auf und unter dem Bildschirm wurde mit einem Wert von 2 für die Inanspruchnahme der Handlungsantwortressource R_s gewürdigt. Die errechneten Interferenzprognosewerte aller Aufgabenpaarungen sind in der Tabelle 4.34 abgetragen.

Tabelle 4.34

Prognostizierte Aufgabeninterferenzen und Rangplatz (kleinster Rang, ** größter Rang) des vierten Versuchs im Rahmen des Computational Model auf Basis der zugewiesenen Ressourcenschwierigkeiten (DC: Demand Component, CC: Conflict Component, TI: Total Interference); Werte in Klammern entsprechen der zeitparallelen Aufgabenbearbeitung*

Doppelaufgabe	DC	CC	TI	Rang
Artifizielle Zweitaufgaben				
Visuelle Ablenkung				
A-V1*	1.000 (1.500)	0.800 (3.600)	1.800 (5.100)	2 (2)
A-V2*	1.000 (1.750)	0.800 (3.600)	1.800 (5.350)	2 (3)
Kognitive Ablenkung				
A-K	1.125 (1.750)	0.800 (2.600)	1.925 (4.350)	4 (1)
Reale Zweitaufgaben				
Visuelle Ablenkung				
R-V	1.000 (1.625)	0.800 (4.400)	1.800 (6.025)	2 (4)
Kognitive Ablenkung				
R-K**	1.375 (2.125)	2.200 (6.400)	3.575 (8.525)	5 (5)

Unabhängige Variablen

Neben der aus den obigen Versuchen bekannten Variation des Zweitaufgabentyps mit den Ausprägungen visuelle und kognitive Ablenkung wurde die Realitätsnähe der Zweitaufgabentypen variiert. So kamen künstliche visuell bzw. kognitiv ablenkende Zweitaufgaben, aber auch echte Fahrzeugbedienaufgaben mit visueller und mit kognitiver Ablenkungswirkung zum Einsatz. Die künstliche visuell ablenkende Zweitaufgabe ist darüber hinaus in ihrer Schwierigkeit (einfach vs. schwer) manipuliert worden.

Abhängige Variablen

Für die Bestimmung der Primäraufgabenleistung wurden im vierten Versuch in Übereinstimmung mit Versuch 3 die Entscheidungszeit bei der Kreisverkehrnavigation sowie die Zahl der Navigationsfehler erfasst. Als Leistungsmaße der artifiziellen Zweitaufgaben wurden in den Bedingungen Visuelle Suche (A-V1, A-V2) und Logisches Schließen (A-K) die Antwortzeiten und die Zahl der Antwortfehler erhoben. Für die realen Zweitaufgaben galt im Vergleich zu allen bislang geschilderten Versuchen eine Besonderheit: Trat ein ad hoc nicht korrigierbarer Fehler bei der Bearbeitung der Aufgaben Listensuche (R-V) und Routenplanung (R-K) auf, wurde diese Versuchsbedingung abgebrochen und vollständig wiederholt. Als nicht korrigierbar galten Fehler, die die richtige Lösung dieser Teilaufgabe definitiv unmöglich machten, etwa indem ein falscher Menüpunkt ausgewählt wurde. Demzufolge konnte als abhängige Variable für die realen Zweitaufgaben zwar die Bearbeitungszeit, aber nicht die Zahl von Bearbeitungsfehlern erfasst werden (vgl. Abschnitt Versuchsablauf, Seite 117).

Versuchsdesign

Der vierte Versuch folgte wie die Versuche 1 bis 3 einem vollständigen Within-subject Design mit Messwiederholung. Er wurde nach dem Schema $5 * 6 + 1 + 1 + 1 + 2 + 2$ aufgebaut. Die sechs Hauptversuchsbedingungen (P-B, A-V1, A-V2, A-K, R-V, R-K) wurden jeweils fünfmal von jeder Versuchsperson bearbeitet. Hinzu kamen je ein Versuchsdurchgang zur Bestimmung der Grundleistung (Baseline) in den artifiziellen Zweitaufgaben Visuelle Suche einfach (A-V1), Visuelle Suche schwer (A-V2) und Logisches Schließen (A-K) sowie zur Identifizierung von Lerneffekten jeweils zwei Durchführungen der Grundleistungsbestimmung für die realen Zweitaufgaben Listensuche (R-V) und Routenplanung (R-K).

Versuchsablauf

Die aus Versuch 3 bekannte Laborsituation konnte mit wenigen Anpassungen auch für den vierten Versuch verwendet werden. Lediglich rechts neben dem Zusatzbildschirm der artifiziellen visuellen Suchaufgabe (A-V1, A-V2) wurde zusätzlich das PCM 3.0 für die Bearbeitung der Realaufgaben platziert. Da es sich bei diesem Versuch um eine überarbeitete Variante des dritten Versuchs handelte, entsprach der Versuchsablauf in großen Teilen dem oben geschilderten Schema (siehe Abschnitt 4.4.2, Seite 94).

Die Versuchspersonen wurden begrüßt, in die Versuchsumgebung eingeführt und mit ihrer Aufgabenstellung vertraut gemacht. Die Primäraufgabe wurde geübt und falls gewünscht, konnten auch die Zweitaufgaben vor ihrer jeweils ersten Durchführung von den Versuchspersonen ausprobiert werden. Im Unterschied zum dritten Versuch sollte hier die Darbietungszeit des einprägenden Verkehrszeichens auf ein absolutes Minimum reduziert werden. Der für den inneren Monolog zur Bildung der Gedächtnisspur zur Verfügung stehende Zeitraum sollte gerade so groß sein, dass die Kreisverkehrkonstellation sicher im Arbeitsgedächtnis verankert werden konnte. Die Länge dieser minimal benötigten Anzeigezeit wurde für jede Versuchsperson individuell zu

Beginn und zur Berücksichtigung von Lerneffekten nach einem Drittel der Versuchsbedingungen ermittelt.

Dazu bekamen die Versuchspersonen zunächst die Gelegenheit, sich das auf dem Hauptbildschirm dargestellte Verkehrszeichen für die Dauer von 3000 Millisekunden anzuschauen und einzuprägen. Anschließend sollten sie die darauf abgebildete Kreisverkehrskonstellation mit Hilfe eines als Papiervorlage umgesetzten Kreisverkehrshohlings und ebenfalls aus Papier bestehenden Symbolen reproduzieren. Wurden vier von fünf Kreisverkehrsschildern pro Zeitblock richtig wiedergegeben, verringerte sich die Darbietungszeit um 500 Millisekunden. Andernfalls wurde die Zeit um 500 Millisekunden erhöht. Diese Zeitanpassung wurde so lange vorgenommen, bis mehr als ein Reproduktionsfehler auftrat. Damit war die für diese Person minimal erforderliche Anzeigzeit bestimmt.

Nachdem im eigentlichen Test die individuell ermittelte Anzeigzeit abgelaufen war, verschwand das Verkehrszeichen vom Hauptbildschirm der Fahrsimulation und der Proband wendete seine Aufmerksamkeit einer der im Gesamtversuch zufällig angeordneten Zweitaufgaben zu. Die Zweitaufgaben wurden so konstruiert, dass ihre Bearbeitung zwischen 40 und 50 Sekunden dauerte. Harbluk, Burns, Lochner und Trbovich (2007) haben in ihren Validierungsbemühungen zum Lane Change Test festgestellt, dass die Kontrolle der Bearbeitungszeit der Zweitaufgaben bedeutsam für die widerspruchsfreie Interpretation der Messdaten ist. Eine genaue Vorausplanung der Bearbeitungszeit war bei den Realaufgaben jedoch aufgrund der Selbststeuerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit durch die Probanden (*subject-paced*) nicht möglich. Sobald die Versuchspersonen die Zweitaufgabe beendet hatten, wechselten sie zurück zum Fahrsimulationsbildschirm, auf dem nun für die Dauer von 500 Millisekunden das Symbol der anzusteuernenden Zielausfahrt angezeigt wurde. Der Proband musste dann, wie im dritten Versuch, so zügig wie möglich durch den Kreisverkehr hin zur Zielausfahrt navigieren und dort ausfahren.

Bei der Bearbeitung der Realaufgaben am PCM 3.0 blieb es den Versuchspersonen überlassen, welche Interaktionsmodalität (Touch Screen, Dreh-Drück-Steller) sie bei der Bedienung verwenden wollten. Es durfte auch beliebig zwischen den Modalitäten gewechselt werden. Bei beiden Aufgaben wurde die Bearbeitungszeit durch den Versuchsleiter gemessen. Begingen die Versuchspersonen bei der Bearbeitung einer Realaufgabe einen nicht korrigierbaren Fehler, wurde die Bearbeitung dieser Bedingung abgebrochen und wiederholt (siehe oben). Die Erfassung der Antwortzeiten und Antwortfehler in den artifiziellen Zweitaufgaben erfolgte so wie aus den vorherigen Versuchen bekannt.

Nach zehn der dreißig Doppelaufgabenbedingungen des Versuchs wurde ein zweites Mal mit Hilfe des oben geschilderten Verfahrens die minimal erforderliche Anzeigzeit für das Kreisverkehrsschild bestimmt. Die dabei ermittelte Zeit galt dann als Anzeigzeit für die übrigen zwanzig Doppelaufgabenbedingungen.

In zufälliger Position innerhalb des Gesamtversuchs sind die Einzelbearbeitungsleistungen (Baselines) aller Teilaufgaben erhoben worden; in fünf Wiederholungen für die Primäraufgabe sowie in je einer Durchführung für die artifiziellen Zweitaufgaben. Bei der Bestimmung der Grundleistung der Realaufgaben am PCM 3.0 ist vom Prinzip der zufälligen Positionierung im Versuchsablauf abgewichen worden. Um Lerneffekte dieser Aufgaben untersuchen zu können, wurde eine erste Baseline-Bestimmung vor der ersten – zufällig positionierten – Doppelaufgabendurchführung mit dem jeweiligen Realaufgabentyp (Listensuche oder Routenplanung) vorgenommen. Eine zweite Grundleistungsmessung wurde nach der zufällig positionierten letzten Zweitaufgabenwiederholung durchgeführt. Als Zielelement der Suchliste und als Navigationsziel für die Routenplanung wurden hierfür jeweils die Städtenamen *Kusel* und *Lebus* verwendet.

Die aus den vorherigen Versuchen bekannte Instruktion der Versuchspersonen wurde beibehalten. Der Primäraufgabe sollte das Hauptaugenmerk gelten. Dennoch sollte eine deutliche Vernachlässigung der Zweitaufgaben vermieden werden. Eine Sitzung des vierten Versuchs dauerte etwa 90 Minuten.

4.5.3 Ergebnisse

Primäraufgabe

Darbietungszeit des Verkehrszeichens – Die individuell bestimmte minimal erforderliche Anzeigezeit des Verkehrszeichens reichte sowohl bei der Erstbestimmung zu Beginn des Experiments als auch bei der Neubestimmung nach einem Drittel der Versuchsdurchgänge von minimal 1000 ms bis maximal 6500 ms. Die Abnahme der mittleren Anzeigezeit von $M = 3653.85$ ms ($SD = 1263.09$ ms) zu Versuchsbeginn auf $M = 2423.08$ ms ($SD = 1316.76$ ms) bei der zweiten Erhebung deutet unmissverständlich auf einen Lernfortschritt der Probanden in ihrer Fähigkeit hin, symbolbeschriftete Verkehrszeichen zu memorieren und handlungsleitend abzurufen. Die Mittelwertunterschiede der beiden Erhebungszeitpunkte sind hoch signifikant, $T(25) = 5.186, p < .001$.

Entscheidungszeiten – Im Gegensatz zu Versuch 3 wurden bei der Auswertung der Entscheidungszeiten nur die Zeiten der richtig gelösten Navigationsaufgaben berücksichtigt. Sofern eine Versuchsperson nicht alle fünf Durchführungen eines Doppelaufgabentyps fehlerhaft löste, lagen für jede Versuchsbedingung verwertbare Messdaten vor, wenn auch je nach Fehleraufkommen mit unterschiedlich breiter Datenbasis. Die Messdaten blieben aufgrund dieses Vorgehens inhaltlich stringent; die Daten richtiger Durchführungen wurden nicht mit Fehlerdaten vermengt. Der Versuchsperson 21 ist es in keiner der fünf Durchführungen der Doppelaufgabenbedingung Logisches Schließen (A-K) gelungen, das Navigationsziel zu erreichen. Für sie liegt deshalb keine mittlere Entscheidungszeit der richtigen Navigationsentscheidungen vor. Das gleiche gilt für Versuchsperson 26, die in keiner der fünf Wiederholungen der Doppelaufgabe Routenplanung (R-K) an der richtigen Ausfahrt ausfuhr.

Die Abbildung 4.20 zeigt die mittleren Entscheidungszeiten der richtig gelösten Navigationsaufgaben. Diese Entscheidungszeiten entstanden in Folge zweier Aggregationsschritte. Im ersten Schritt wurde aus den eins bis fünf möglichen Einzelentscheidungen bei der Navigation durch den Kreisverkehr (fünf Ausfahrten mussten eingeprägt werden; die Zielausfahrt konnte eine beliebige dieser fünf Ausfahrten sein) ein Mittelwert für diese Versuchsbedingung gebildet. Anschließend sind diese Mittelwerte aller richtig gelösten Durchführungen der fünf Wiederholungen einer Versuchsbedingung durch Bildung des arithmetischen Mittels zur tatsächlichen mittleren Entscheidungszeit für diese Versuchsbedingung zusammengefasst worden. Diese zusammengefasste Entscheidungszeit war die Grundlage für die weitere deskriptiv- und inferenzstatistische Datenanalyse. Die deskriptivstatistische Kennzeichnung der Messwerte findet sich in der Tabelle 4.35.

Tabelle 4.35

Deskriptive Statistik der mittleren Entscheidungszeiten und Rangplatz (kleinster Rang, ** größter Rang) richtiger Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe*

Bedingung	N	min.	max.	M	SD	Rang
Baseline	26	1028.55	2126.00	1418.83	228.85	
Visuelle Ablenkung						
A-V1*	26	1002.00	1939.80	1392.97	261.36	1
A-V2	26	1063.32	2247.33	1425.56	366.50	2
R-V	26	980.11	2521.52	1437.61	359.29	3
Kognitive Ablenkung						
A-K	25	924.00	2851.87	1459.97	461.98	4
R-K**	25	1055.00	2066.78	1475.87	323.48	5

Die im Mittel kürzeste Entscheidungszeit benötigte eine Versuchsperson mit knapp einer Sekunde ($M = 924.00$ ms) bei der gleichzeitigen Ausführung der Primäraufgabe mit der Zwei-

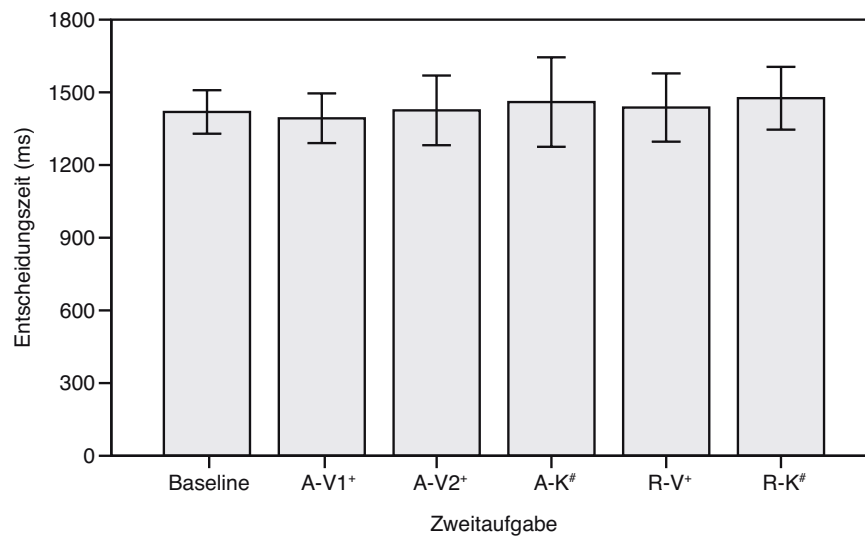


Abbildung 4.20. Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

taufgabe Logisches Schließen (A-K). Im Mittel am längsten benötigte eine Versuchsperson mit $M = 2521.52 \text{ ms}$ für die Entscheidungen in der Versuchsbedingung Listensuche am PCM 3.0 (R-V). Obwohl dies im Einzelfall einer Differenz von ca. 1.5 Sekunden entspricht, bewegen sich die mittleren Entscheidungszeiten aller sechs Versuchsbedingungen, einschließlich der Einzelaufgabendurchführung der Primäraufgabe (Baseline), sehr homogen in einem engen Bereich um ca. 1400 Millisekunden (min. $M = 1392.97 \text{ ms}$ in Versuchsbedingung A-V1, max. $M = 1457.87 \text{ ms}$ in Versuchsbedingung R-K). Diese äußerst geringen Zeitunterschiede sind, obwohl in der Abbildung 4.20 optisch wahrnehmbar, von derart geringer Ausprägung, dass sie keinerlei praktische Relevanz besitzen. Die Variation der Versuchsbedingung übte keinerlei Einfluss auf die Größe der mittleren Entscheidungszeiten in den richtig gelösten Kreisverkehrsnavigationsaufgaben aus, und zwar weder unter Einbezug der Baseline-Bestimmung noch bei Ausklammerung dieser Versuchsbedingung. Die Tabelle 4.36 enthält die entsprechenden F -Test-Werte.

Tabelle 4.36

Einfluss der Variation der Versuchsbedingung auf die Entscheidungszeit in der Primäraufgabe

F -Test mit Baseline	F -Test ohne Baseline
Mittelwerte der Entscheidungszeiten (M)	
$F(4.876, 112.153) = .226, p = .948$	$F(4, 92) = .274, p = .894$
Standardabweichungen der Entscheidungszeiten (SD)	
$F(2.900, 52.207) = 1.734, p = .173$	$F(2.754, 52.319) = 1.100, p = .354$

Die Fehlerbalken in der Abbildung 4.20, die gewissermaßen als Abbild der in der Tabelle 4.37 hinterlegten Standardabweichungen der mittleren Entscheidungszeiten gelten können, zeigen jedoch bei flüchtiger Betrachtung unterschiedlich starke Ausprägungen zwischen den Versuchsbedingungen. Die Dynamik der Standardabweichungen wurde deshalb einer genaueren Analyse unterzogen. In der Abbildung 4.21 und in der Tabelle 4.37 sind die mittleren Standardabweichungen getrennt nach Versuchsbedingung abgetragen. Die kleinste mittlere Standardabweichung der Entscheidungszeit zeigte eine Versuchsperson bei der Bearbeitung der einfachen artifiziellen visuellen Suchaufgabe (A-V1) mit einem Wert von $M = 264.65 \text{ ms}$. Hier erfolgte die Entscheidung mit einem zeitlich relativ stabilen Antwortverhalten. Eine deutlich größere Entscheidungsunsicherheit zeigte sich bei der Bearbeitung der Suchaufgabe am PCM 3.0 (R-V) mit einem Wert von $M = 1012.52 \text{ ms}$.

cherheit zeigte ein Proband in der Paarung der Primäraufgabe mit der artifiziellen kognitiv ablenkenden Zweitaufgabe Logisches Schließen (A-K). Hier lag die mittlere Standardabweichung bei $M = 410.84 \text{ ms}$. Gleichwohl weist die F -Statistik auch in diesem Fall keine gerichtete Beziehung zwischen der Variation der Versuchsbedingung und der Entscheidungsunsicherheit, operationalisiert über die Standardabweichung der Entscheidungszeit, aus (siehe Tabelle 4.36). Für die mittleren Entscheidungszeiten und die Standardabweichungen der Entscheidungszeiten sind im Anhang A.4.2 die mittleren Differenzen der paarweisen Vergleiche ohne Berücksichtigung der Baseline aufgeführt.

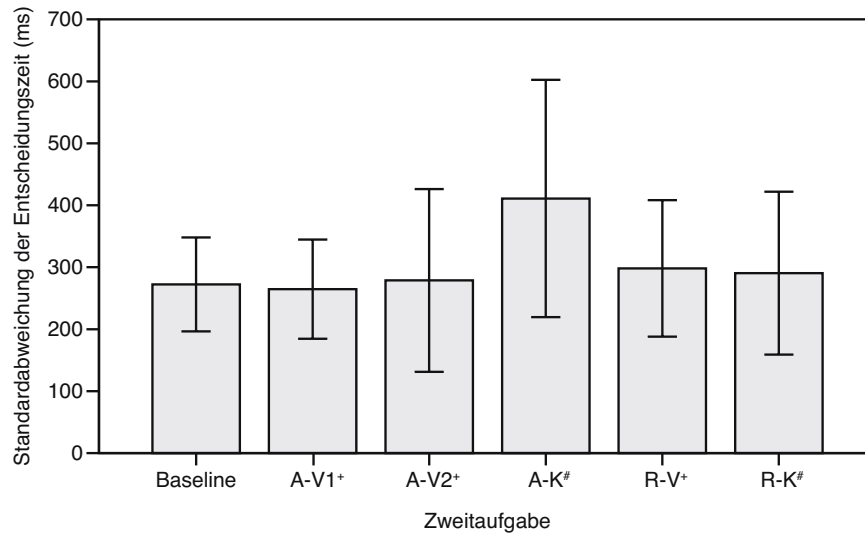


Abbildung 4.21. Mittlere Standardabweichungen und Standardfehler der Entscheidungszeiten der Navigationsentscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

Tabelle 4.37

Deskriptivstatistik der mittleren Standardabweichungen und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang) der Entscheidungszeiten richtiger Entscheidungen in Millisekunden, getrennt nach Zweitaufgabe

Bedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>	Rang
Baseline	26	32.65	823.64	272.34	189.56	
Visuelle Ablenkung						
A-V1*	26	77.64	982.65	264.65	196.21	1
A-V2	26	44.23	1804.39	278.67	368.75	2
R-V	26	48.58	1351.73	298.05	281.05	4
Kognitive Ablenkung						
A-K**	25	24.75	1686.21	410.84	469.11	5
R-K	25	60.81	1519.41	290.46	328.67	3

Trotz des homogenen Bildes der Entscheidungszeitmittelwerte wurden in einem zusätzlichen Auswertungsschritt die Versuchsbedingungen zu Ablenkungsgruppen (Baseline, visuelle Ablenkung, kognitive Ablenkung) zusammengefasst. Die Abbildung 4.22 enthält die derart gemittelten Entscheidungszeiten. Der Mittelwert der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben hebt sich leicht von den übrigen Mittelwerten ab. Die große Datenstreuung (siehe Fehlerbalken) sowie der sehr kleine absolute Unterschied heben den Einfluss der Variation des Ablenkungstyps auf die Ent-

scheidungszeit auch unter dieser Betrachtungsperspektive nicht auf das Niveau der Signifikanz. Darauf deuten sowohl der T -Test-Wert des Vergleichs der mittleren Entscheidungszeiten der Ablenkungsklassen visuell vs. kognitiv, $T(25) = 1.280, p = .212$, als auch der analoge Testwert für die Gegenüberstellung der mittleren Standardabweichungen der Ablenkungsklassen visuell vs. kognitiv hin, $T(25) = 1.339, p = .193$.

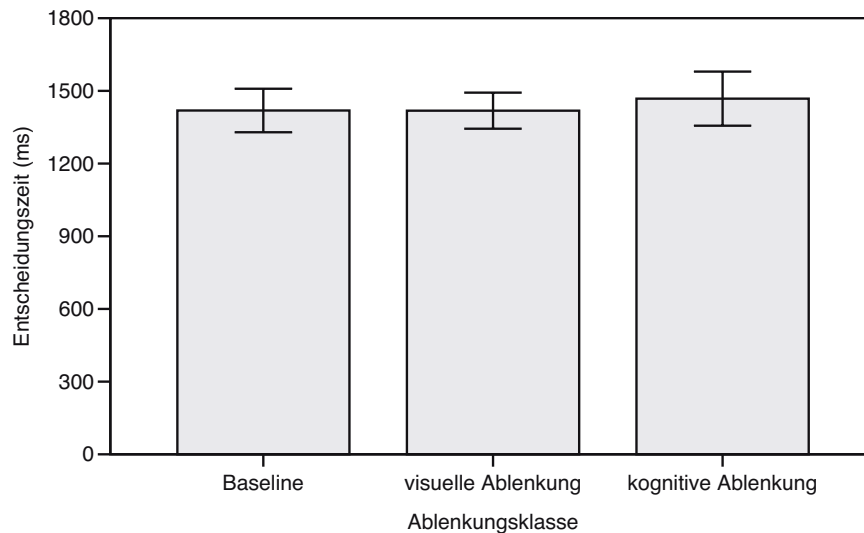


Abbildung 4.22. Mittlere Entscheidungszeiten und Standardfehler der Navigationsaufgaben in Millisekunden, getrennt nach Ablenkungsklasse.

Entscheidungsfehler – Als weiterer möglicher Indikator für differenzierbare Ablenkungsqualitäten wurde die abhängige Variable *Entscheidungsfehler* wie bereits in Versuch 3 (vgl. Abschnitt 4.4.3) einer näheren Analyse unterzogen. Auch hier galt das Verpassen der richtigen oder das zu frühe Ausfahren an der falschen Ausfahrt als Entscheidungsfehler. Die Abbildung 4.23 visualisiert die mittlere Anzahl von Entscheidungs- bzw. Navigationsfehlern, getrennt nach Versuchsbedingung.

Die Tabelle 4.38 enthält die entsprechende Deskriptivstatistik der Messwerte. Im Mittel bewegte sich die Anzahl der Entscheidungsfehler zwischen 1.08 falsch gelösten Navigationsaufgaben in der Baseline-Bedingung der Primäraufgabe und 1.92 nicht erreichten Zielausfahrten beim Logischen Schließen (A-K). Während also bei der Bestimmung der Grundleistung der Primäraufgabe eine der fünf Durchführungen falsch bearbeitet wurde, erhöhte sich dieser Wert bei der artifiziellen kognitiv ablenkenden Zweitaufgabe annähernd auf das Doppelte. Die schwere artifizielle visuelle Suchanforderung (A-V2) und die reale kognitiv ablenkende Zweitaufgaben Routenplanung (R-K) liegen mit mittleren Fehlerzahlen von $M = 1.62$ bzw. $M = 1.58$ in etwa gleich auf an zweiter Stelle der Fehlerhäufigkeiten. Entgegen dem optischen Eindruck aus Abbildung 4.23 sind diese versuchsbedingungsverursachten Fehlerunterschiede sowohl unter Einrechnung der Einzelaufgabenbedingung Baseline, $F(5, 125) = 2.128, p = .066$, als auch unter alleiniger Betrachtung der Doppelaufgabenbedingungen durch Ausschluss der Baseline, $F(4, 100) = 1.660, p = .165$, nicht signifikant. Auch für den Parameter Entscheidungsfehler findet sich im Anhang die Übersicht der mittleren Differenzen im paarweisen Vergleich unter Ausklammerung der Baseline (siehe Anhang A.4.2).

Um auch hier die Sicht auf die zu untersuchenden Ablenkungsqualitäten *visuell* und *kognitiv* zu fokussieren, wurden die Fehlerzahlen über die Aufgaben des jeweiligen Ablenkungstyps aggregiert. Die Abbildung 4.24 enthält die auf diese Weise berechnete mittlere Anzahl von Entscheidungsfehlern. Es zeigt sich ein Anstieg der Fehlerhäufigkeit von der Einzelaufgabenkonstellation der Baseline-Bestimmung über die Aufgabenklasse mit konstruierter visueller Ablenkung

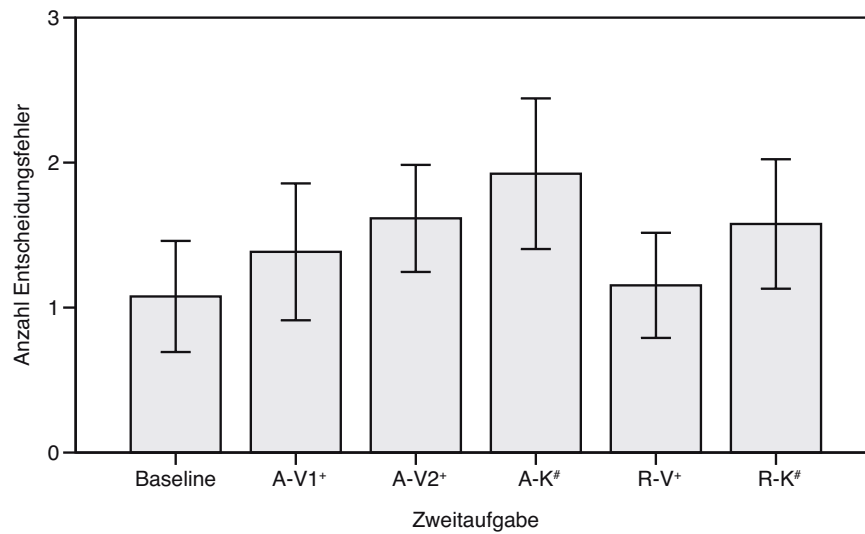


Abbildung 4.23. Mittlere Anzahl und Standardfehler der Entscheidungsfehler, getrennt nach Zweitaufgabe (+ visuelle Ablenkung, # kognitive Ablenkung).

Tabelle 4.38

Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl von Entscheidungsfehlern und Rangplatz (* kleinster Rang, ** größter Rang), getrennt nach Versuchsbedingung ($N = 26$)

Versuchsbedingung	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>	Rang
Baseline	0	4	1.08	.98	
Visuelle Ablenkung					
A-V1	0	4	1.38	1.20	2
A-V2	0	4	1.62	.94	4
R-V*	0	3	1.15	.92	1
Kognitive Ablenkung					
A-K**	0	5	1.92	1.32	5
R-K	0	5	1.58	1.14	3

bis hin zur Gruppe der kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben. Der inferenzstatistische Mittelwertvergleich zwischen visueller und kognitiver Ablenkung erlaubt jedoch nicht, die Hypothese der Gleichheit beider Mittelwertreihen zu verwerfen. Das bedeutet, der Unterschied ist, obwohl der optische Eindruck anderes vermuten lässt, nicht signifikant, $T(25) = 1.811$, $p = .082$.

Zweitaufgaben

Für die Details zur Auswertung der hinlänglich bekannten artifiziellen Zweitaufgaben sei wiederum auf Versuch 1 in Abschnitt 4.2.3 und Versuch 2 in Abschnitt 4.3.3 hingewiesen. Bei den realen Aufgaben am PCM 3.0 wurde lediglich durch den Versuchsleiter die Bearbeitungszeit als abhängige Variable softwaregestützt gemessen und automatisiert dateibasiert protokolliert.

Visuelle Suche (Visuelle Ablenkung, künstliche Anforderung) – Die Tabelle A.44 im Anhang A.4.3 kennzeichnet die mittleren Antwortzeiten der richtigen Antworten bei der artifiziellen visuellen Suche, unterteilt nach Einzel- und Doppelaufgabenbearbeitung und Schwierigkeitsgrad. In der Tabelle A.45 sind die Kennwerte der mittleren Fehlerhäufigkeiten dieser Zweitaufga-

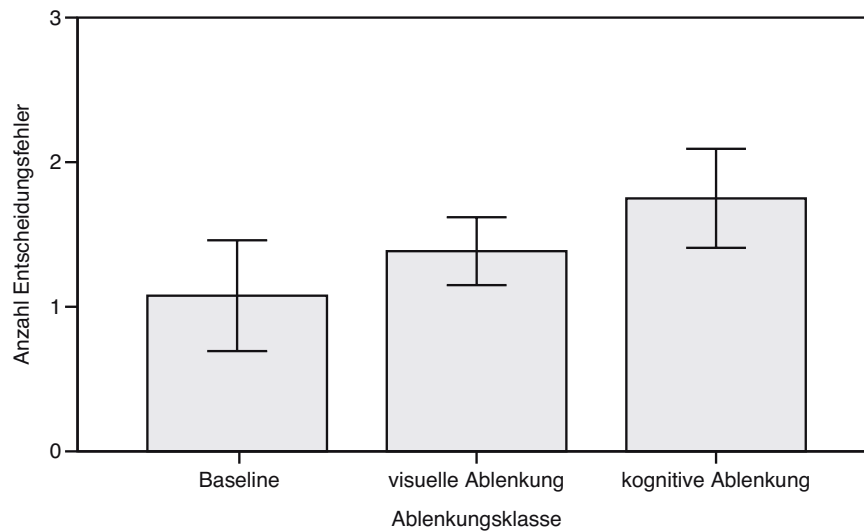


Abbildung 4.24. Mittlere Anzahl und Standardfehler der Entscheidungsfehler, getrennt nach Ablenkungsklasse.

benanforderung abgetragen. Bei beiden Parametern sind klare Unterschiede sowohl hinsichtlich der Variation der Aufgabenpaarung (Einzel- und Doppelaufgabenbearbeitung) als auch der Aufgabenschwierigkeit erkennbar. Diese Antwortzeitdifferenzen sind über alle Versuchspersonen derart stabil, dass der F -Test einen signifikanten Einfluss der Variation der artifiziellen visuellen Suchbedingung belegt, $F(1.669, 41.724) = 275.208, p < .001, \eta^2 = .917$. Ähnlich klar zeigt sich die Abhängigkeit der mittleren Suchfehlerzahl von der Art (einfach vs. schwer) und Applikation (Einzel- vs. Doppelaufgabenbearbeitung) der artifiziellen visuellen Suchaufgabe, $F(2.278, 56.941) = 28.953, p < .001, \eta^2 = .537$. Die Tabellen A.46 und A.47 im Anhang A.4.3 dokumentieren die unkorrigierten Testwerte des direkten Mittelwertvergleichs der Antwortzeiten bzw. der Anzahl der Antwortfehler bei der artifiziellen visuellen Suche (A-V1, A-V2). Das Doppelaufgabendeckrement und die Rückwirkung der Aufgabenschwierigkeit auf die Leistung bilden sich bei beiden Arten der Ergebnisaufbereitung ab, mit Ausnahme des Parameters Fehlerzahl im Vergleich zwischen der Einzel- und Doppelaufgabenbearbeitung der einfachen visuellen Suche (A-V1). Das Fehleraufkommen unterscheidet sich hier nicht signifikant.

Listensuche (Visuelle Ablenkung, reale Anforderung) – Bei der Auswertung der Bearbeitungszeiten der PCM 3.0 Realaufgaben stellte sich heraus, dass die Protokolldateien der Aufgaben Listensuche (R-V) und Routenplanung (R-K) von Versuchsperson 1 beschädigt waren und nicht gelesen werden konnten. Für diese Versuchsperson liegen deshalb keine Bearbeitungszeiten für die realen Zweitaufgaben vor.

In der Tabelle A.48 im Anhang A.4.3 ist die Deskriptivstatistik der Bearbeitungszeiten der realen visuellen Suchaufgabe Listensuche (R-V) dargestellt, und zwar unterteilt nach erster Baseline, Doppelaufgabenanforderung und zweiter Baseline. Trotz erkennbarer Mittelwertunterschiede zwischen erster und zweiter Baseline sowie der Bedingung der Doppelaufgabenbearbeitung (R-V) unterscheiden sich die Versuchsbedingungen aufgrund der großen Schwankungsbreite der erhobenen Datenpunkte nicht signifikant, $F(1.889, 45.332) = 1.741, p = .188$. Die Listensuche hat einen nahezu konstanten bedingungsunabhängigen Zeitbedarf, der sich weder durch Übung noch durch die Art der Bearbeitung (Einzel- vs. Doppelaufgabenbearbeitung) moderieren lässt.

Logisches Schließen (Kognitive Ablenkung, künstliche Anforderung) – Die Deskriptivstatistik der mittleren Antwortzeiten richtiger Antworten in der Zweitaufgabe Logisches Schließen (A-K) ist in der Tabelle A.49 im Anhang A.4.3 abgetragen. Der klare Zeitbedarfsunterschied, der durch die Aufgabenkonstellation (Einzel- vs. Doppelaufgabenbearbeitung) determiniert wird, ist

hoch signifikant, $T(24) = 7.089, p < .001$. Das Fehleraufkommen beider Ausprägungen dieser Zweitaufgabe unterscheidet sich ebenfalls, wenn auch auf sehr niedrigem absoluten Niveau. Ausweislich des T -Tests kann auch hier von einer stabil verschieden starken Häufung der Fehlerzahl ausgegangen werden, $T(24) = 2.402, p = .024$. Numerisch wird diese Beziehung in der Tabelle A.50 im Anhang A.4.3 veranschaulicht.

Routenplanung (Kognitive Ablenkung, reale Anforderung) – Die deskriptivstatistische Aufbereitung der Versuchspersonenleistungen in dieser Zweitaufgabe findet sich im Anhang A.4.3 in der Tabelle A.51. Der deutlich geringere Zeitbedarf bei der wiederholten Einzelbearbeitung im direkten Anschluss an die fünfte Doppelaufgabendurchführung (zweite Baseline) ist ein starker Indikator für einen Übungseffekt bei der Bearbeitung dieser Aufgabe. Gegen Ende des Versuchs war diese Aufgabe von den Probanden schneller zu bearbeiten als zu Beginn. Gleichzeitig bildete sich bei dieser Aufgabe ein Doppelaufgabendekrement ab. Die Einzelbearbeitung erfolgte schneller als die parallele Durchführung mit der Primäraufgabe, $F(1.946, 46.693) = 9.308, p < .001, \eta^2 = .279$. Der paarweise Vergleich der Mittelwerte belegt den signifikanten Unterschied zwischen den Paarkombinationen erste und zweite Baseline-Bestimmung (Mittlere Differenz = 8.294,01 ms, $p = .026$, Lerneffekt) sowie Doppelaufgabendurchführung und zweite Baseline-Bestimmung (Mittlere Differenz = 10.794,142 ms, $p < .001$, Doppelaufgabendekrement bei ausreichend gelernter Zweitaufgabe).

Vergleich der Dekrementprognose mit den gemessenen Dekrementen

In der Tabelle 4.39 sind die nicht parametrischen Korrelationen (Spearman's ρ) zwischen der prognostizierten Rangfolge der Ablenkungswirkung der Versuchsbedingungen und der experimentell erhobenen Rangfolge der Entscheidungszeitrangreihen (Mittelwerte Entscheidungszeit, Standardabweichungen der Entscheidungszeit) und der Entscheidungsfehler aufgelistet.

Tabelle 4.39

Korrelationen der Interferenzprognose (TI = Total Interference) und der empirisch ermittelten Interferenzen (operationalisiert über Reaktionszeiten richtiger Reaktionen sowie der Anzahl falscher und verpasster Reaktionen)

	Entscheidungszeit M	Entscheidungsfehler
TI	.671	–.447
Entscheidungszeit M		.300

Sowohl zwischen der prognostizierten Doppelaufgabeninterferenz und der gemessenen Interferenz anhand der Parameter Entscheidungszeit (M) und Entscheidungsfehler als auch zwischen den Parametern bestehen keine signifikanten Korrelationen. Gleichwohl deutet ein Korrelationswert von .671 zwischen der Interferenzprognose TI und dem empirisch ermittelten Interferenzwert Entscheidungszeit (M) auf einen durchaus vorhandenen Zusammenhang hin. Zwischen der prognostizierten Aufgabeninterferenz und der Messgröße Entscheidungsfehler besteht ein schwach negativer, aber ebenso nicht signifikanter korrelativer Zusammenhang.

4.5.4 Diskussion

Im vierten Versuch wurde die experimentelle Idee von Versuch 3, kognitive Ablenkung anhand der Navigationsleistung bei einer Kreisverkefahrt zu erfassen, aufgegriffen und verfeinert. Die Primäraufgabenschwierigkeit ist gezielt erhöht worden. Zusätzlich zu zwei aus dem ersten und dem zweiten Versuch bekannten Zweitaufgaben (Logisches Schließen, Visuelle Suche) wurde erstmals eine visuell und eine kognitiv ablenkende Realaufgabe verwendet. Anhand der Entscheidungszeit konnte in diesem Versuch erneut nicht zwischen den Zweitaufgaben differenziert

werden. Die Anzahl der Entscheidungsfehler bildete hingegen im Trend die Variation der Zweitaufgaben ab und ließ darüber hinaus ansatzweise die unterstellte Unterschiedlichkeit zwischen visuell und kognitiv ablenkenden Zweitaufgaben erkennen. Gleichwohl waren die Ergebnisse nicht signifikant. Aus diesem Grund gilt für Versuch 4, dass die Hypothese unterschiedlicher Ablenkungsqualitäten nicht bestätigt werden konnte.

Bewertung der Untersuchungshypothesen

Die Beurteilung der Haupthypothese des vierten Versuchs stützt sich neuerlich auf die beiden Messgrößen *Entscheidungszeiten* (Hypothese H 1.1) und *Navigationsfehler* (Hypothese H 1.2). Das Muster der erhobenen Entscheidungszeiten zeigt keine substantiellen Differenzen zwischen den Versuchsbedingungen, die im Sinne der Untersuchungshypothese auszulegen wären. Zwar ist sowohl in der Abbildung 4.20 als auch in der Tabelle 4.35 eine hypothesenkonforme Rangordnung der Entscheidungszeitmittelwerte (bei Ausschluss der Primäraufgaben-Baseline) erkennbar – die mittleren Entscheidungszeiten aller kognitionsbetonten Versuchsbedingungen liegen über ihren visuell gestressten Gegenstücken –, von praktischer Bedeutung sind diese Unterschiede aber nicht. Die Streuung der Mittelwerte ist derart groß, dass sie die ohnehin sehr kleinen Mittelwertdifferenzen wirkungsmächtig überlagern. Es gibt keine Veranlassung, diese sehr kleinen Unterschiede nicht als Rauschen oder als alleiniges Produkt des Zufalls zu interpretieren. Die Hypothese H 1.1 muss zurückgewiesen werden. Dabei ist ohne Belang, ob die Entscheidungszeiten oder die Standardabweichungen der Entscheidungszeiten betrachtet werden. Es bestand zunächst die begründete Vermutung, die Standardabweichungen der Entscheidungszeiten wären ein aussagekräftiger Parameter, weil sich in ihnen eine gewisse Entscheidungsunsicherheit widerspiegeln könnte. Diese Entscheidungsunsicherheit oder Schwankung in der Entscheidungsgüte (sehr schnelle und sehr langsame Entscheidungen) schien bei den Versuchsbedingungen mit kognitiver Ablenkung größer zu sein als in den übrigen Bedingungen. Inferenzstatistisch bestätigt hat sich diese ad hoc-Annahme während der Datenauswertung indessen nicht.

Das Fehleraufkommen, das mit der Hypothese H 1.2 thematisiert wurde, stellte sich weniger verrauscht und zufällig dar. Insbesondere die Aggregation der mittleren Fehlerzahlen zu Gruppen der kognitiven und der visuellen Ablenkung mit gleichzeitiger Abgrenzung gegen die Baseline der Primäraufgabe führte zu einer Ergebnisrangreihe im Sinne der Hypothese (vgl. Abbildung 4.23 und Tabelle 4.38). Auf der Analyseebene der Einzelaufgaben widersprachen die Ergebnisse dagegen den Detailaussagen der Hypothese H 1.2. Die schwere visuelle Suche (A-V2) verursachte mehr Fehler als prognostiziert. Ihr Fehleraufkommen lag über dem der kognitiv ablenkenden Routenplanung (R-K). Auf beiden Aggregationsstufen der Analyse (Ebene der Einzelaufgaben, Ebene der zu Ablenkungsgruppen zusammengefassten Aufgaben) fiel die Signifikanzprüfung mit Hilfe der *F*-Statistik negativ aus. Auch die Hypothese H 1.2 muss verworfen werden.

Die Ablehnung der Teilhypothesen H 1.1 und H 1.2 lässt keinen anderen Schluss zu, als die übergeordnete Hypothese H 1 nicht zu bestätigen. Sowohl die Entscheidungszeiten als auch die Zahl der Navigationsfehler waren in den kognitiv besonders stark beanspruchenden Doppelaufgabenbedingungen nicht größer als bei den visuell fordernden Aufgabenpaaren.

Leistungsdynamik der Zweitaufgaben – Die Leistungsdynamik der Zweitaufgaben entspricht im Wesentlichen der Erwartung. Bei der artifiziellen visuellen Suche (A-V1, A-V2) ist sowohl das Doppelaufgabendekrement als auch der Einfluss der Zweitaufgabenschwierigkeit auf die Zweitaufgabenleistung klar sichtbar. Das heißt, die Zweitaufgabenleistung der artifiziellen visuellen Suche wurde nicht konstant gehalten, sondern mit ihr wurden die zunehmenden Anforderungen der Doppelaufgabensituation kompensiert. Das Gleiche gilt für die kognitiv ablenkende Zweitaufgabe Logisches Schließen (A-K). Beide erhobenen Leistungsgrößen (Antwortzeit, Antwortfehler) sind in der Doppelaufgabendurchführung schlechter als bei der Einzelbearbeitung. Auch hier fand eine Kompensation der steigenden Gesamtbeanspruchung aufgrund der Mehrfachtigkeit mit Hilfe der Zweitaufgabe statt.

Bei beiden Realaufgaben war dies ebenso der Fall, aber erst nachdem die Realaufgaben einen hohen Übungsgrad erreicht hatten. Bei der jeweils ersten Bestimmung der Grundleistung zeigte sich kein Vorteil gegenüber der gemittelten Leistung der Doppelaufgabenbearbeitung. Erst die Gegenüberstellung mit der zweiten Baseline macht zum einen das Doppelaufgabendeckrement sichtbar und belegt zum anderen den Lernfortschritt bei der Bearbeitung beider Aufgaben. Oder andersherum formuliert: Erst nach einem gewissen Lernfortschritt wurde die Gesamtbeanspruchung mit Hilfe der jeweiligen realen Zweitaufgabe abgefangen.

Interpretation der Befunde und Schlussfolgerungen

Als Revision des dritten Versuchs sollte mit der vierten experimentellen Untersuchung die Wirkung visuell und kognitiver Ablenkung auf das Navigationsverhalten bei der Durchfahrt eines Kreisverkehrs genauer untersucht werden. Die Erhöhung des allgemeinen Schwierigkeitsgrades der Primäraufgabe sollte die vermuteten Effekte stärker hervortreten lassen. Gleichzeitig wurde die Gesamtzahl zu treffender Navigationsentscheidungen durch mehrfache Wiederholung der Versuchsbedingungen erhöht, um insbesondere der abhängigen Variable *Anzahl von Entscheidungsfehlern* mehr potentiellen Wirkungsspielraum zu ermöglichen. Die Abbildung 4.23 deutet auf eine Abhängigkeit der Navigationsfehlerzahl von der Art der Zweitaufgabe hin. Vor allem der deutliche Unterschied zwischen den Zweitaufgaben A-K und R-V stützt die Vermutung, die bereits zu Experiment 3 im Abschnitt 4.4.4 geäußert wurde, wonach Fehlermaße ein tauglicher Indikator für kognitive Ablenkung sein könnten. Wie im Ergebnisteil berichtet wurde, ist es zwei Versuchspersonen nicht gelungen, einen der fünf Durchgänge mit kognitiv ablenkender Zweitaufgabe richtig zu bearbeiten. Das ist ein weiteres starkes Argument für die Sensitivität dieses Parameters (Versuchsperson 21 in Bedingung A-K; Versuchsperson 26 in Bedingung R-K). Mit der vorliegenden Stichprobengröße ist es aber leider nicht gelungen, diese Beziehung als signifikant auszuweisen. Durch eine leichte Anhebung des Stichprobenumfangs könnte es in einer Replikationsstudie gelingen, diesen behaupteten systematischen Zusammenhang zwischen kognitiver Ablenkung und fehlerhaften Navigationsentscheidungen stabil zu belegen.

Der bereits im dritten Versuch erhobene Parametertyp Entscheidungszeit für das Navigationsverhalten hat sich mit Versuch 4 abermals als ungeeignet erwiesen. Die Entscheidungszeiten sind zwischen den Versuchsbedingungen nahezu gleichläufig. Sie bilden die experimentell eingebrachte Variation in keiner Weise ab. Eine Schlussfolgerung aus den Versuchsreihen dieser Arbeit lautet demzufolge, kognitive Ablenkung nicht über ein quantitatives Kurzfristmaß wie Reaktions- oder Entscheidungszeiten zu erfassen, sondern mit Hilfe von Messgrößen mit einer qualitativen Konnotation, zum Beispiel Fehlermaße, zu operationalisieren. Die sinnvoll interpretierbare Abtastrate von Reaktions- bzw. Entscheidungszeiten scheint eher im Millisekundenbereich zu liegen. Wie jedoch eingangs geschildert wurde, vollzieht sich Navigationsverhalten auf der Zeitachse wesentlich weniger granular. Das bedeutet, mit Hilfe der Operationalisierung kognitiver Ablenkung über die Entscheidungszeit von Navigationsentscheidungen in den Versuchen 3 und 4 wurde ein Messverfahren mit einem Genauigkeitsversprechen appliziert, das durch Navigationsverhalten nicht einzulösen ist. Das mag auch damit zusammenhängen, dass den Probanden während der Bearbeitung der Navigationsaufgabe die geforderte Dringlichkeit ihrer Navigationsschritte nicht zu jeder Zeit bewusst war. Zwar wurden die Versuchspersonen zuvor instruiert, sich jeweils so schnell wie möglich durch den Kreisverkehr zu bewegen, eine nachvollziehbare Notwendigkeit ergab sich für sie daraus jedoch nicht. Offenbar bewegten sich die Versuchsteilnehmer mit einem intraindividuell einheitlichen Tempo durch den Kreisverkehr, das heißt ohne besonders langsam zu sein, aber auch ohne besondere Eile.

Eine ebenso plausible Erklärung für das homogene Entscheidungszeitbild gibt das *Model of Wayfinding* von Burns (1998), das in der Abbildung 4.25 schematisch dargestellt ist. Burns trennt bei der Wegfindung im Verkehrsraum zwischen einem mentalen Prozess der Entscheidungsfindung und der Handlungsausführung. In den Versuchen 3 und 4 dieser Arbeit ist eben jenes Verhalten der Handlungsausführung gemessen worden. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Navigationsentscheidung unter Umständen bereits getroffen; zumindest bei denjenigen Aufga-

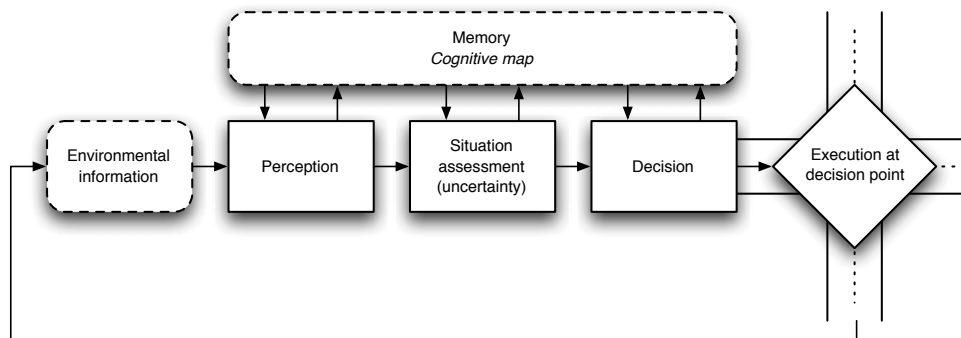


Abbildung 4.25. Model of wayfinding while driving (Burns, 1998).

ben, die richtig gelöst wurden. Es wäre lohnenswert darüber nachzudenken, wie der kognitive Prozess der Entscheidungsfindung sinnvoll operationalisiert werden könnte, um an diesem Punkt mit einer Messung von Ablenkungseffekten anzusetzen.

Die folgende Diskussion zweier weiterer Aspekte des vierten Versuchs kann einen ergänzenden Beitrag dazu leisten, das nicht hypothesenkonforme Ergebnis zu begründen.

Ähnlichkeit der Symbole – Die fragebogengestützte Bewertung der Ähnlichkeit bzw. Verwechselbarkeit der Symbole gibt keine Auskunft über die semantische Ähnlichkeit der Symbole, da explizit nach optischer Ähnlichkeit gefragt wurde. Schwerer wiegt allerdings, dass die Bewertungen auch keine Rückschlüsse über die Einprägsamkeit der Symbole zulassen. Unter Einprägsamkeit wird verstanden, wie leicht die Symbole ins Arbeitsgedächtnis überführt werden können. Das hängt zum einen von der Vertrautheit und vom Abstraktionsgrad der Symbole ab. Wobei davon ausgegangen wird, dass wenig abstrakte, vertraute Symbole einprägsamer sind. Die Einprägsamkeit wird von der Einfachheit der Überführung in Wortmarken bestimmt (vgl. Befunde zur *Inner Speech*, z. B. Baddeley & Wilson, 1985). Dabei wird der Einfluss des Abstraktionsgrades der Symbole besonders deutlich. Für bekannte und konkrete Symbole sind Wortmarken sehr leicht verfügbar. Für abstrakte Symbole müssen diese Wortmarken zunächst gefunden bzw. kreiert werden. Möglichst kurze Wortmarken sind dabei wiederum memorierungsfreundlicher als längere (Wortlängeneffekt, vgl. Baddeley, 1986). Die Herausbildung von Merkstrategien für die Symbole ist maßgeblich von der Anzahl der Versuchsdurchgänge abhängig. Mit zunehmender Experimentaldauer könnte sich der Schwierigkeitsgrad der Primäraufgabe verändert haben. Diesem Aspekt ist insofern Rechnung getragen worden, dass die Darbietungszeit des einzuprägenden Verkehrszeichens nach einem Drittel der Trials neu bestimmt wurde. Darüber hinaus sind diese primäraufgabenmoderierenden Übungseffekte im Zuge des experimentellen Designs nicht gesondert gewürdigt worden.

Übungseffekte – Wie einleitend zum vierten Versuch begründet worden ist, sollte dieser Versuch im Bereich des Leistungsmaximums jeder einzelnen Versuchsperson vollzogen werden. Dazu wurde parallel zum eigentlichen Versuch die minimal erforderliche Anzeigezeit des Verkehrszeichens vergleichsweise aufwendig, das heißt mit Hilfe zahlreicher Wiederholungen der Memorierung eines Kreisverkehrs bestimmt. Rückblickend wird ein unerwünschter Seiteneffekt dieses Prozederes offenkundig: Die Probanden wurden nachhaltig darin trainiert. Noch vor dem Beginn des eigentlichen Versuchs waren die Teilnehmer – so die nachträgliche Interpretation – sehr gut darin geschult, die gezeigten Symbole zu erfassen, in die nach einigen Durchgängen intern verfügbaren möglichst kurzen Wortmarken zu transformieren und mental zwischenspeichern. Ein Beleg dafür ist die bei allen Probanden gemessene Verkürzung der Darbietungszeit zwischen der ersten Bestimmung zu Beginn des Versuchs und der zweiten Erhebung nach zwei Dritteln der Teilaufgaben (siehe oben). Befördert wurde dieser Kompetenzerwerb darüber hinaus durch die mehrfache Wiederholung jeder Zweitaufgabe (fünf Wiederholungen). Das gewählte Vorgehen

zur Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit sowie die mehrfache Wiederholung der Versuchsbedingungen zur Verbreiterung der Datenbasis haben unter Umständen nicht die erwünschte Pointierung von Messeffekten bewirkt, sondern zur Bildung einer lokalen Expertise geführt, die eben jener Pointierung zuwiderläuft. Die Bedeutsamkeit von Übung und Training als Moderator von Verhalten wurde bereits von Norman und Shallice (1980) und Neumann (1992) herausgearbeitet. Es soll hier zwar keinesfalls von einer Verhaltensautomatisierung gesprochen werden, eine kontraproduktive Verschiebung der Versuchsanforderung in Richtung einer Fertigkeit oder eines Könnens kann gleichwohl nicht ausgeschlossen werden. Darin unterscheidet sich der vierte Versuch substantiell vor allem von den ersten beiden Versuchen, bei denen diese Möglichkeit eines Fertigkeitserwerbs nicht gegeben war.

Kapitel V. Gesamtdiskussion

Die Untersuchungshypothese dieser Arbeit lautete, dass orientiert an der Theorie multipler Ressourcen (Wickens, 2002) zwischen einer spezifisch visuellen und einer spezifisch kognitiven Ablenkung unterschieden werden kann. Beide Ablenkungsarten resultieren, so die durch die Theorie begründete Vermutung, aus der Überbeanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen, die, wenngleich sie nicht grundlegend verschieden sind, dennoch eine je Anforderungstyp unterscheidbare Qualität besitzen. Begründet durch die Verknüpfung des Drei-Ebenen-Modells der Fahrzeugführung mit Modellen des hierarchischen Verhaltens (Hacker, 1973; Rasmussen, 1983) sollten sich die unterstellten verschiedenartigen Ablenkungsmechanismen beziehungsweise Ablenkungstypen auf unterschiedlichen Ebenen der Kraftfahrzeugführung niederschlagen. Die größte Wirkung visueller Ablenkung wurde auf der Stabilisierungs- und Bahnführungsebene vermutet. Kognitive Ablenkung sollte sich sehr deutlich auf der Navigationsebene zeigen. Dementsprechend sind die Ablenkungstypen zweigleisig operationalisiert worden: Sie sollten konkurrent validiert werden. In den ersten beiden Versuchen dieser Arbeit ist visuelle Ablenkung mit Hilfe einer einfachen Reiz-Reaktions-Anforderung gemessen worden. Entgegen den negativen Befunden aus Versuch 1 konnte in einer angepassten Wiederholung des Experiments mit Versuch 2 eine stärkere Störung der dominant visuellen Primäraufgabe durch visuell ablenkende Zweitaufgaben registriert werden, die sich in größeren Reaktionszeiten und höheren Fehlerraten äußerte. Mit den Versuchen 3 und 4 wurde ein neuartiger Zugang zur Messung kognitiver Ablenkung eingeführt. Charakteristisch dafür war zum Ersten die bereits benannte Operationalisierung kognitiver Ablenkung auf der Navigationsebene der Fahrzeugführung und zum Zweiten die zeitversetzte Messung der Ablenkungseffekte, das heißt die Messung erfolgte nicht während, sondern im Anschluss an die Doppelaufgabentätigkeit. In beiden Versuchen (3 und 4) konnten keine zweitaufgabenspezifischen Ablenkungseffekte in Form von verzögerten oder falschen Navigationsentscheidungen gemessen werden.

Neben den in den Diskussionsteilen der vier Versuche geschilderten methodischen und theoretischen Gründen für die Ablehnung der Untersuchungshypothese dieser Arbeit (siehe Abschnitte 4.2.4, 4.3.4, 4.4.4 und 4.5.4) sollen nachfolgend weitere Aspekte diskutiert werden, die zur Interpretation der Befundlage beitragen. Vorweg kann festgestellt werden, dass das enttäuschende Ergebnis der Arbeit weder ausschließlich auf konzeptionell-methodische Schwächen der experimentellen Untersuchungen zurückgeführt werden kann, noch ein Ausdruck der generellen Unzulänglichkeit der zugrundegelegten Theorien und dabei insbesondere der Theorie multipler Ressourcen ist. Das Ergebnisbild dieser Arbeit konstituiert sich sowohl aus Methoden- als auch aus Theorieaspekten.

Anmerkungen zur Methode

Am stärksten angreifbar macht sich die vorliegende Arbeit durch das gewählte experimentelle Zusammenspiel zwischen der Primäraufgabe und den Zweitaufgaben. Ist für die Versuche 1 und 2 durchaus noch von einer klassischen Doppelaufgabensituation zu sprechen, dehnen die Versuche 3 und 4 mit ihrer sequentiellen Taktung der perzeptiven und motorischen Bearbeitungsschritte die Doppelaufgabenidee bis zur Grenze des Zulässigen. Diese Vorgehensweise wurde bewusst gewählt, um Ablenkungseffekte auf das Arbeitsgedächtnis gezielt und abgekapselt von Wahrnehmung und Motorik untersuchen zu können (vgl. Abschnitt 4.4.1).

Wie bereits im Abschnitt 4.2.4 erwähnt wurde, sind die Primär- und Sekundäraufgaben der Versuche 1 und 2 bei der jeweiligen Doppelaufgabenbearbeitung nicht miteinander synchronisiert worden. Es handelte sich streng genommen um zwei unabhängige Aufgaben mit einem jeweils eigenen *Timing*. Beide Aufgaben wurden lediglich zeitparallel bearbeitet. Ein ganz ähnliches Vorgehen wählten Boles et al. (2007) bei der experimentellen Validierung ihres *Multiple Resources Questionnaire (MRQ)* (vgl. Abschnitt 2.2.1). Ihre Probanden haben zwei Aufgaben bearbeitet, die auf zwei direkt nebeneinander aufgestellten Arbeitsplatzrechnern dargeboten wurden. Die Teilschritte der verwendeten Aufgaben folgten einer fest vorgegebenen Zeitfolge und dauerten insgesamt jeweils ca. 15 Minuten. Vidulich und Tsang (2007) äußern scharfe Kritik an diesem Vorgehen. Ihrer Ansicht nach handelte es sich dabei nicht um ein echtes *Time Sharing* zweier Aufgaben, die zeitgleich auf eine einheitliche (kognitive) Ressource zugreifen (Teilung von Aufmerksamkeit), sondern lediglich um einen stetigen Wechsel der Aufmerksamkeit. Für die Untersuchungsreihe von Boles et al. (2007) ist diese Kritik nachvollziehbar. Ihre Aufgaben bestanden aus granularen Einheiten, die isoliert vom vorangegangenen und vom nachfolgenden Item bearbeitet werden konnten. So musste zum Beispiel entschieden werden, ob das Wort *ONE* eine gerade oder einer ungerade Zahl benennt. Das nächste Zahlwort konnte beispielsweise *SEVEN* lauten. Dieser Aufgabentyp kann punktuell bearbeitet werden und erfordert keinen mentalen Transfer zwischen ihrem Vorgänger oder ihrem Nachfolger. Es müssen keine Aufgabeninhalte über längere Zeit, das heißt über mehrere Items hinweg, im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden (Vidulich & Tsang, 2007).

In dieser Arbeit wurden demgegenüber Aufgaben verwendet, deren Einzelbestandteile bzw. Items durchaus miteinander in Beziehung standen oder aber eine jeweilige Mindestdauer besaßen, durch die sichergestellt war, dass sich die Primär- und die Zweitaufgabe zeitlich klar überlappten und somit ein *Time Sharing* provoziert wurde. So musste zum Beispiel in den Zählaufgaben permanent die nächste Zahl auf Basis ihres Vorgängers berechnet werden. Bei der Gedächtnissuche mussten die *Targets* der *Positive Sets* mental vorgehalten werden. Beim Logischen Schließen und bei der Räumlichen Ordnung gab es zwar keinen aufgabeninternen Bezug zwischen den Items, insbesondere der Zeitbedarf des Logischen Schließens war jedoch derart groß, dass sich Items dieser Zweitaufgabe zwangsläufig mit Items der Primäraufgabe der Reaktion auf Verkehrszeichenwechsel überschneiden mussten und somit eine echte Mehrfachaufgabenbearbeitung erforderten. Die entsprechende Zunahme der Primäraufgabenreaktionszeiten ist ein eindrucksvoller Beleg dafür (vgl. Abschnitt 4.3.3). Am ehesten trifft die Kritik von Vidulich und Tsang (2007) an der Arbeit von Boles et al. (2007) auch für diese Arbeit bei der Wahl der visuell ablenkenden Zweitaufgaben zu. Dass beim Okklusionsverfahren nicht von einer vollständigen, ressourcenbeanspruchenden Zweitaufgabe gesprochen werden kann, wurde bereits im Abschnitt 4.2.4 diskutiert. Dieser Aufgabentypus ist deshalb für alle weiteren Versuche verworfen worden. Bei der stattdessen verwendeten Visuellen Suche gehörte es zum Konstruktionsprinzip dieser Aufgabe, dass sie möglichst wenig Ressourcen abseits der visuellen Aufmerksamkeit beanspruchen sollte. Hier konnte – und das ist der Kern der Aufgabe – kein *Time Sharing* zwischen der Primär- und der Sekundäraufgabe im Sinne eines *Multi-Taskings* stattfinden. Dieser Aufgabentyp verlangte lediglich einen Wechsel der visuellen Aufmerksamkeit. Ein bedeutsamer Unterschied des experimentellen Vorgehens in dieser Arbeit zur Methode von Boles et al. (2007) ist das hier in den Versuchen 1 und 2 konsequent realisierte Prinzip der zeitlich zufälligen Darbietung der Primäraufgabe. Es war nicht möglich, dass sich die Probanden auf einen antizipierbaren Zeitrhythmus der Teilaufgaben einschwingen konnten, der es ihnen ermöglichte, beide Aufgaben kontrolliert sequentiell zu bearbeiten.

Bei den Versuchen 3 und 4 ist das *Time Sharing* der Primär- und Zweitaufgaben weniger offenkundig. Beide Teilaufgaben wurden absichtsvoll nacheinander dargeboten. Diese sequentielle Anordnung der Aufgaben betrifft indessen nur die beobachtbaren Aufgabenbestandteile der Wahrnehmung und der Antwortausführung. Die kognitive Leistung der kontinuierlichen mentalen Präsenhaltung der Zielausfahrt überlappt sich unbestritten mit der eingeschobenen Zweitaufgabe. Die Trennung der Wahrnehmungs- und Motorikkomponenten beider Aufgaben verkörpert vielmehr das eigentlich Neue dieser Arbeit. Für den dritten und vierten, aber auch für die ersten

beiden Versuche, gilt darüber hinaus Wickens' (2007) Gedanke, wonach die Trennung zwischen sequentieller und gleichzeitiger Bearbeitung zweier Aufgaben im Rahmen einer Doppelaufgabensituation oft unscharf ist. Vor allem bei komplexeren Aufgaben würden Reste der zuvor bearbeiteten Teilaufgabe gedanklich nachhängen und die Leistung in der nachfolgenden Aufgabe hemmen.

Auf die effektdämpfende Wirkung durch Herausbildung einer Expertise in der Bearbeitung des dritten und vierten Versuchs bei den Probanden wurde schon im Abschnitt 4.5.4 eingegangen. Dieser Störeinfluss, der zu einer Varianzeinschränkung des Verhaltens führt, könnte potentiell vorhandene Ablenkungseffekte verdeckt haben. Petzoldt, Bär, Ihle und Krems (2011) haben den *Lane Change Test*, der ebenfalls eine Einfachmethode zur Ablenkungsmessung ist, eingehend auf Lerneffekte geprüft. Die Autoren haben festgestellt, dass Übung die Leistung im *Lane Change Test* drastisch verbessert. Das Gleiche gilt im Übrigen für die Zweitaufgaben ihrer Untersuchung. Bemerkenswert daran ist, dass dieser Übungseffekt bei einer Versuchswiederholung nach vier Monaten noch immer feststellbar war. Nach Ansicht von Petzoldt et al. (2011) sind derartige Lern- und Übungseffekte ein bedeutsamer Einflussfaktor, der bei Laboruntersuchungen dieser Art unbedingt zu berücksichtigen ist. Diese Kritik trifft auch auf die vorliegende Arbeit zu. Es wurde auch hier bei allen vier Versuchen auf einen homogenen und sehr konstanten Probandenpool zurückgegriffen. Die Versuchspersonen waren nach einiger Zeit geübt darin, beispielsweise die wiederholt verwendeten Zweitaufgaben der visuellen Suche oder des Logischen Schließens zu bearbeiten. Ebenso wurden sie vor allem im vierten Versuch regelrecht darin ausgebildet, innerhalb sehr kurzer Zeit Verkehrszeichen zu memorieren, während der Zweitaufgabenbearbeitung präsent zu halten und im Anschluss handlungsleitend abzurufen. Lerneffekte lassen sich in künstlichen Laborsituationen nicht vermeiden. Sie sollten aber beim experimentellen Design sowie bei Auswahl der Probanden berücksichtigt werden.

Ferner gibt es einige formale Anmerkungen zur Methode sowie zur Aufbereitung der Ergebnisse. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es vor allem in den Versuchen 3 und 4 schlicht nicht gelungen ist, tatsächlich vorhandene hypothesenkonforme Ablenkungseffekte statistisch belastbar nachzuweisen. Insbesondere das Maß der Entscheidungsfehler verfehlte im vierten Versuch nur knapp das Niveau der Signifikanz. Ein Grund dafür könnte in der vergleichsweise kleinen Stichprobe liegen, die nicht ausgereicht hat, um die unter Umständen nur sehr schwachen Effekte hervortreten zu lassen. Idealerweise sollte in künftigen Versuchen auf der Grundlage der angestrebten Effektstärke a priori die optimale Stichprobengröße bestimmt und rekrutiert werden. Gleichwohl unterliegt eine wissenschaftliche Arbeit im industriellen Umfeld, wie in diesem Fall, oft Sachzwängen, die es unmöglich machen, eine große Anzahl von Probanden zu verpflichten. Darüber hinaus können mit einer großen Probandenzahl zwar im besten Fall signifikante Ergebnisse generiert werden, der praktische Nutzwert der Methode steigt damit aber nicht zwangsläufig. Im Sinne der Anwendungsfreundlichkeit und Nützlichkeit für praktische Fragestellungen muss auf großen, stabilen Effekten bestanden werden, die mit einem angemessenen Aufwand ermittelt werden können. Nur daraus lassen sich bei minimalem Risiko für den Fahrzeugentwicklungsprozess nachhaltige und richtige Produktentscheidungen ableiten.

Eine letzte methodische Kritik richtet sich gegen das sehr reduzierte und artifizielle Gesamt-Setting der Experimente dieser Arbeit. Warum dieser Zugang gewählt wurde, ist bereits im Abschnitt 4.1 begründet worden. Die grundsätzliche Unterscheidbarkeit von visueller und kognitiver Ablenkung sollte zunächst zuverlässig unter sehr kontrollierten Bedingungen nachgewiesen werden. Gleichwohl hat diese Arbeit den Anspruch, generalisierbare Aussagen für den Bereich der Kraftfahrzeugführung zu treffen (siehe Titel der Arbeit). Da die erste Zielstellung nicht erreicht wurde, erübrigen sich Überlegungen zur Generalisierbarkeit der Befunde insofern, dass auch für die reale Kraftfahrzeugführung zunächst nicht von trennbaren Ablenkungsqualitäten ausgegangen werden kann, die sich im Reaktions- (visuelle Ablenkung) und im Navigationsverhalten (kognitive Ablenkung) niederschlagen. Folgt man jedoch Wickens (2007), der an der Arbeit von Boles et al. (2007) (siehe oben) die zu große Vereinfachung und zu starke Kontrolle der durchgeführten Experimente kritisierte, ließe sich darüber nachdenken, ob die große Künstlichkeit der Experimente dieser Arbeit nicht kontraproduktiv gewirkt hat, weil dadurch die Verhaltensvarianz

unnötig beschränkt wurde. Wickens (2007) sieht in dieser Spannung zwischen experimenteller Kontrolle und Realitätsnähe, das heißt zwischen interner und externer Validität, eine der großen Herausforderungen für die Ingenieurpsychologie. Eine mögliche Anschlussuntersuchung könnte folglich darin bestehen, das Reaktions- und Navigationsverhalten zunächst im Fahrsimulator und anschließend im Realverkehr zu testen.

Anmerkungen zum Computational Model of Task Interference

Das von Wickens (2002) formulierte *Computational Model of Task Interference* verkörperte zum Zeitpunkt seiner Veröffentlichung das Versprechen, ein universelles Werkzeug zu sein, mit dem auf sehr einfache Weise ermittelt werden kann, wie stark sich zwei zeitgleich zu bearbeitende Aufgaben wechselseitig stören. Das Modell implementiert dafür die Ressourcennutzung auf der Stufendimension der menschlichen Informationsverarbeitung der Theorie multipler Ressourcen (siehe Abschnitt 2.2.1). Es untersetzt die modalitätsspezifische Informationsverarbeitung auf den Stufen Wahrnehmung, Kognition und Handlungsantwort mit den jeweils in der Theorie multipler Ressourcen beschriebenen Ressourcen bzw. Aufmerksamkeitsquellen. Bei Kenntnis des relativen Ausmaßes der jeweiligen Ressourcenbeanspruchung der beiden Teilaufgaben lässt sich ein Interferenzwert dieser beiden Aufgaben bestimmen. Anhand dieses Wertes können verschiedene Teilaufgabenkonstellationen sehr einfach miteinander verglichen werden, ohne aufwendige Experimentalsreihen durchführen zu müssen. Derartige Teilaufgabenkonstellationen können beispielsweise Varianten von Eingabemodalitäten, etwa Sprachsteuerung versus Dreh-Drück-Steller, und Displaypositionen, zum Beispiel griffgünstig versus blickgünstig, sein. Eine erste Validierungsstudie von Horrey und Wickens (2003) konnte die Gültigkeit des Berechnungsmodells zunächst bestätigen.

Eine Sichtung der gängigen Literaturdatenbanken hat ergeben, dass das *Computational of Task Interference* bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit allenfalls punktuell angewendet wurde (vgl. Wickens & McCarley, 2008). Es ist bislang offenbar nicht in den Methodenkanon der angewandten Ablenkungsforschung übergegangen. Die Gründe dafür lassen sich unter anderem auch in den Ergebnissen dieser Arbeit suchen. Der breite Erfolg eines derartigen Modells ist eng an seine Nützlichkeit gekoppelt. Die trotz aller Vereinfachungen noch immer vergleichsweise aufwendigen Arbeitsschritte bei der Anwendung des Modells, insbesondere die Verrechnung der Einzelschwierigkeiten anhand der *Conflict Matrix*, sind nur zu rechtfertigen, wenn das Modell einen substantiellen Beitrag zur Bestimmung von Doppelaufgabendekrementen in denjenigen Anwendungsfällen leisten kann, die nicht aus Teilaufgaben mit offenkundigen Eigenschaften bestehen, aus denen problemlos mit gesundem Menschenverstand Ablenkungseffekte abgeleitet werden können. Für Teilaufgaben, die sich relativ stark voneinander unterscheiden und sich somit ohne nennenswerten Interpretationsspielraum bezüglich ihrer Eigenschaften und Bestimmungsstücke in Schwierigkeitswerte für die beteiligten Ressourcen transformieren lassen, scheint das *Computational Model* gültig zu sein. Horrey und Wickens (2003) stellten drei stark unterschiedlichen Fahraufgaben (Stadtfahrt, Landstraßenfahrt auf gerader Strecke, Landstraßenfahrt auf kurvenreicher Strecke) drei identische Sekundäraufgaben gegenüber (Wiedergabe einer vier-, sieben- oder zehnstelligen Zahl), deren Darbietungsmodalität zwischen der visuellen Wahrnehmung auf einem im Sichtfeld des Probanden platzierten Display sowie einem außerhalb des direkten Sichtfelds platzierten Displays und der auditorischen Wahrnehmung durch akustische Reizdarbietung variiert wurde. Die Modellvorhersagen über die wechselseitige Beeinträchtigung der Teilaufgaben entsprachen im Wesentlichen den experimentell ermittelten Interferenzen. Ob das Modell gleichermaßen aussagekräftig für Teilaufgaben mit geringerer Eigenschaftsvarianz ist, muss vor allem aufgrund der Befundlage dieser Arbeit in Frage gestellt werden.

Horrey und Wickens (2003) selbst benennen den wichtigsten Grund dafür. Vor allem die Spezifizierung der *Demand Vectors* (Ressourcenschwierigkeiten) der Aufgaben erfordert eine gewisse Expertise. So muss zunächst die Entscheidung getroffen werden, ob eine Ressource an der Aufgabenbearbeitung beteiligt ist (Wert des *Demand Vectors* ist größer als null) oder nicht (Wert des *Demand Vectors* ist null). Daran knüpft sich die mathematische Sensitivität des Mo-

dells für Doppelaufgabendekremente. Nur wenn eine Ressource beansprucht wird, wird diese Ressource durch die Berechnungsvorschrift berücksichtigt. Darüber hinaus muss die jeweilige Höhe der Schwierigkeitswerte zutreffend gewählt werden. Das erfordert bereits im Vorhinein eine stimmige Hypothese über die gestufte Wirkung einer Aufgabeneigenschaft. Auch bei der vorliegenden Arbeit musste in jedem der vier Versuche bei der Befüllung des *Computational Models* entschieden werden, ob sich die beabsichtigte lineare Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit in eine lineare Anhebung der Ressourcenschwierigkeiten übertragen lässt (siehe z. B. ansteigende Schwierigkeitswerte der Zweitaufgabe Gedächtnissuche in Versuch 2, S. 75). Etwaige Sprünge in der Nutzung der Ressource bleiben dabei unberücksichtigt. So ist durchaus denkbar, dass eine Aufgabe bis zu einer gewissen Schwierigkeit problemlos mit konstant niedriger Ressourcennutzung (z. B. Schwierigkeitswert 1) zu bearbeiten ist und ab dieser Schwierigkeitsschwelle einen exponentiell erhöhten Ressourceneinsatz erfordert (z. B. Schwierigkeitswert 3).

Das *Computational Model of Task Interference* erfordert folglich sehr detaillierte und sehr elaborierte Kenntnisse über die Detaileigenschaften der untersuchten Aufgaben. Der Beurteiler muss begründete Annahmen treffen, welche der Ressourcen beansprucht werden und wie stark diese Ressourcenbeanspruchung insbesondere in Relation zu den übrigen Ressourcen ist. Er muss zum Beispiel belastbare Aussagen darüber treffen können, wie hoch der Beanspruchungsgrad einer visuellen Aufgabe in Bezug auf das foveale Sehen in klarer Abgrenzung zum ambienten Sehen ist. Und er muss eine Aufgabe a priori hinsichtlich ihrer Anforderungen an kognitive Prozesse der räumlichen und verbalen Informationsverarbeitung kennzeichnen können. An diesem Punkt besteht die Gefahr, dass das *Computational Model* seine Handlichkeit und somit seine Nützlichkeit einbüßt. Die geforderten detaillierten Aussagen zu den kritischen Aufgabeneigenschaften sind sehr wahrscheinlich nur schwer ad hoc, etwa anhand von Heuristiken oder Erfahrungswerten, zu treffen. Gültige Werte erfordern eine Feinanalyse der Teilaufgaben, die wohl nur auf experimentellem Wege in sehr kontrollierten Versuchssituationen vollzogen werden kann. Mit dieser Arbeit ist es nicht gelungen, derartige Einfachexperimente zu identifizieren, die bei der Ermittlung gültiger Modellwerte helfen könnten. Das liegt in erster Linie daran, dass die gewünschte Trennung zwischen der Erfassung der visuellen Aufgabenschwierigkeit (Ressourcen *Visual focal* und *Visual ambient*) und der kognitiven Aufgabenschwierigkeit (Ressourcen *Cognitive spatial* und *Cognitive verbal*) nicht gelungen ist. Gleichsam als logische Folge dessen ergab sich in dieser Arbeit in keinem der vier Versuche eine signifikante Passung zwischen der jeweils prognostizierten Anordnung der Ablenkungsgrade der verwendeten Doppelaufgaben und der empirisch erhobenen Anordnung. Das spricht aber nicht per se gegen das *Computational Model*. In künftigen Studien ließe sich dieses Problem eventuell durch eine breitere Beurteilerbasis abfangen, indem man die Aufgabenschwierigkeiten nicht von nur einem, sondern von mehreren Experten beurteilen lässt. Das erfordert aber ein gemeinsames Verständnis aller Beurteiler über die im Zweifel sehr feinen Bestimmungsstücke der Aufgaben und ihren jeweiligen Ressourcenansprüchen.

Ebenso kritisch wie die Vergabe plausibler Schwierigkeitswerte ist die Verwendung einer gültigen *Conflict Matrix*. Wickens (2002) hat zwar eine solche allgemeingültige Matrix vorgeschlagen, die er anhand der Befunde aus zahlreichen Doppelaufgabenuntersuchungen aufgestellt hat. Eine Generalisierbarkeit der Matrix auf alle denkbaren Doppelaufgabenkonstellationen lässt sich daraus nicht ableiten. Es darf zum Beispiel kritisch hinterfragt werden, wie sich unterschiedliche Anforderungen an das *Timing* der Bearbeitung zweier Aufgaben in der Matrix und im Gesamtmodell niederschlagen. Muss eine zeitliche Straffung der Aufgaben etwa in Form von größeren Schwierigkeitswerten der Teilaufgaben oder aber anhand von größeren Konfliktwerten der Konfliktmatrix berücksichtigt werden? Dieses Frage stellte sich in Versuch 4 dieser Arbeit, in dem bei grundsätzlich gleich bleibender Grundschwierigkeit der Primäraufgabe die Bearbeitungszeit verkürzt wurde. Zum Aspekt des Aufgaben-Timings muss auch der in den Versuchen 3 und 4 gewählte Zugang der sequentiellen Bearbeitung der Wahrnehmungs- und Handlungsantwortkomponenten des Verhaltens gezählt werden. Um dieser besonderen Doppelaufgabenkonstellation Rechnung zu tragen, wurden die entsprechenden Ressourcenschwierigkeiten im *Computational Model* auf Null gesetzt. Dieser sehr tief greifende Eingriff in das Berechnungsprinzip der Auf-

gabeninterferenzen birgt die Gefahr, ungültige Ergebnisse zu generieren. Das Modell wurde an dieser Stelle nicht in der vorgegebenen Weise verwendet, sondern sehr großzügig ausgelegt. Es ergaben sich dadurch, wie oben gezeigt wurde, Beanspruchungsprofile der Aufgaben, die nicht nur quantitativ von einer modellkonformen Aufgabenbeschreibung abweichen, sondern streng genommen Aufgaben einer anderen Qualität beschreiben. Dieser Effekt war beabsichtigt, spiegelt aber möglicherweise nicht die experimentelle Realität wider. Die Nullsetzung der Aufgabenschwierigkeiten berücksichtigt rechnerisch keine *carry over*-Effekte der Wahrnehmung und der Handlungsantwort zwischen den Aufgaben, die aber laut Wickens (2007) zu erwarten sind (siehe oben). In der Terminologie des Modells wurden die Aufgaben quasi getrennt voneinander bearbeitet. Unter anderem auch darin könnte der mangelnde *Fit* zwischen Modell und Empirie in den Versuchen 3 und 4 begründet liegen.

Für das *Computational Model of Task Interference* bleibt zu resümieren, dass es einen vordergründig sehr schlüssigen Ansatz zur Berechnung von Interferenzen zweier Aufgaben darstellt, der konsequent die zentralen Ressourcenannahmen der Theorie multipler Ressourcen von Wickens (2002) umsetzt. Wichtige Zusatzannahmen der Theorie, etwa zu den Mechanismen der *overall task management strategy of resource allocation* (vgl. Abschnitt 2.2.2), berücksichtigt das Berechnungsmodell nicht (Wickens & McCarley, 2008). Mit seiner Hilfe kann nicht bestimmt werden, welche der Teilaufgaben eine Leistungseinbuße in welchem Umfang zeigt. Das Modell ist ebenfalls nicht dazu geeignet, Absolutwerte einer Leistungseinbuße einer bestimmten Aufgabenpaarung zu bestimmen (Horry & Wickens, 2003). Das Modell liefert lediglich Relativwerte für den Vergleich verschiedener Aufgabenkombinationen. Diese unbestritten nützliche Eigenschaft wird mit einem noch immer hohen Implementationsaufwand und großer verbleibender Unsicherheit insbesondere aufgrund von Unzulänglichkeiten bei der Vergabe der Ressourcenschwierigkeiten erkauft. Das Modell hat die nötige Granularität, um abseits trivialer Aufgabenkonstellationen potentiell genau sein zu können (z. B. durch die Berücksichtigung aller Ressourcen der Theorie multipler Ressourcen und die sehr elaborierte empirisch ermittelte Konfliktmatrix). Gleichzeitig ist das Modell zu granular, um einfach handhabbar zu sein. Vor allem die differenzierte Parametrierung der Ressourcenpaare der visuellen, der auditorischen und der kognitiven Informationsverarbeitung stellt kein einfaches Unterfangen dar und könnte mehr Fragen aufwerfen als das Modell fähig ist, zu beantworten. Schließlich sei angemerkt, dass die Berechnungsvorschrift nur so gut sein kann, wie die Theorie, aus der sie sich speist. Eben jene Theorie multipler Ressourcen muss aufgrund der Befundlage dieser Arbeit ebenfalls kritisch betrachtet werden.

Anmerkungen zur Theorie multipler Ressourcen

Zunächst fällt auf, dass Wickens in seinem Würfelmodell der Theorie multipler Ressourcen keine derart klare Trennung zwischen visuellen und kognitiven Ressourcen vollzogen hat wie mit dem *Computational Model of Task Interference*. In der Theorie speisen sich Wahrnehmung und Kognition aus einer Ressource, die graduell den jeweils aktiven Prozessen zugewiesen wird. Damit berücksichtigt die Theorie multipler Ressourcen, dass jede Aufgabe gewisse kognitive Verarbeitungsanteile enthält, auch wenn diese sehr klein sein können (Engström & Markkula, 2007; Liang & Lee, 2010. Für Liang und Lee (2010)) folgt daraus, dass eine Zweitaufgabe auch dann mit der Primäraufgabe interferiert, wenn sie nicht offensichtlich die selben Ressourcen beansprucht wie die Primäraufgabe. Bei der Bearbeitung beider Aufgaben sind gleichlautend höhere Prozesse der Handlungsplanung und der Aufmerksamkeitszuweisung beteiligt, die zu Dekrementen führen. Boles und Law (1998) sehen darin eine übergeordnete Quasi-Ressource, mit der jegliche Aufgabendeckremente schlüssig begründet werden könnten, ohne weitere Ressourcenanteile näher spezifizieren zu müssen. Für Boles und Law (1998) besteht darin eine große Schwäche der Theorie multipler Ressourcen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Durch die Verankerung der Ressourcen *Cognitive spatial* und *Cognitive verbal* in klarer Abgrenzung zum visuellen Ressourcenpaar (*Visual focal*, *Visual ambient*) hat Wickens in seinem *Computational Model* hingegen den Mechanismen der visuellen Wahrnehmung und der Kognition disjunkte Ressourcen zugestanden. An dieser Stelle

überlässt er es dem Expertenurteil, Abhängigkeiten zwischen beiden mit adäquaten Zahlenwerten im Modell zu verankern.

An dieser Unschärfe zwischen Theorie und Anwendungswerkzeug (*Computational Model*) wird ein zentrales Problem der Theorie multipler Ressourcen sichtbar. Sie hat den Anspruch, wissenschaftlich fundiert zu sein und gleichzeitig das nötige Rüstzeug für eine unmittelbare praktische Anwendung bereitzustellen. Sie changiert zwischen wissenschaftlicher Genauigkeit und anwendungsorientierter Verkürzung. Deutlich wird dies beispielsweise an folgender Aussage von Wickens (2007), die seinen Hauptanspruch an die Theorie am Beispiel der Ressourcendichotomien zum Ausdruck bringt:

„Each dichotomy is one that has meaningful and relatively easy-to-implement implications for system designers who wish to make changes that will reduce resource competition (e.g., altering a display from sight to sound or from text to graphics).“
(Wickens, 2007, S. 54)

Ob aus der Theorie multipler Ressourcen auch in nicht trivialen beziehungsweise nicht offensichtlichen Anwendungsfällen klare Handlungsanweisungen für die Produktgestaltung abgeleitet werden können, muss in Frage gestellt werden. Die Versuche 3 und 4 dieser Arbeit, in denen versucht wurde, den Bereich zwischen Wahrnehmung und Kognition der Stufendimension der Theorie multipler Ressourcen näher zu untersuchen, haben keine signifikanten Ergebnisse für oder wider die Theorie ergeben. Daraus muss zumindest für diese Arbeit geschlussfolgert werden, dass die Theorie multipler Ressourcen für den interessanten Ressourcenbereich zwischen Wahrnehmung und Kognition keine belastbaren Vorhersagen treffen kann. Damit verkürzt sich der Anwendungsbereich der Theorie auf einen Satz von Daumenregeln, die zum Beispiel besagen, die Information zweier Aufgaben in getrennten Modalitäten (visuell vs. auditorisch) oder unterschiedlich kodiert (räumlich vs. verbal) darzubieten. Gleichzeitig lässt sie weitere Wirkmechanismen zu, die diesen Daumenregeln auch zuwiderlaufen können, wie zum Beispiel das Prinzip der *Auditory preemption*, das akustischen Reizen in einzelnen Fällen eine höhere Priorität zuweist als visueller Information und somit die visuelle Aufmerksamkeit unterdrückt, obwohl sie aufgrund der Energetisierung durch eine andere Ressource gleichberechtigt Bestand haben sollte (vgl. Wickens & McCarley, 2008). Die Theorie multipler Ressourcen ist, pessimistisch betrachtet, nur scheinbar präzise und sparsam. Andererseits stellt sie eben jene Daumenregeln bereit, die bei der Produktentwicklung hilfreich sein können. Sie ersetzt jedoch nicht die eingehende experimentelle Prüfung von Dekrementen, Interferenzen und Ablenkungseffekten während der Fahrt. Es lassen sich offenbar nur schwer eindeutige Gesetzmäßigkeiten für das Zusammenwirken zweier Aufgaben aufstellen, die zu gültigen Vorhersagen über Leistungseinbußen bei der Aufgabenbearbeitung führen. Mit dem nachfolgenden Fazit soll diese Theoriekritik dennoch ein wenig entschärft werden.

Fazit und Ausblick

Das Fazit dieser Arbeit fällt uneinheitlich aus. Der klare Beleg für die Auslegung der Theorie multipler Ressourcen dergestalt, dass Prozesse der Wahrnehmung und Prozesse der Kognition zwar durch eine einheitliche Ressource gespeist werden, sich aber dennoch als Pole dieser ressourcengetriebenen Aufmerksamkeitsleistung zuverlässig voneinander trennen lassen, konnte nicht erbracht werden. Ebenso konnte mit dieser Arbeit nicht wie beabsichtigt geklärt werden, ob das *Computational Model of Task Interference* eine gültige Berechnungsvorschrift für die Vorhersagen der Theorie multipler Ressourcen darstellt. Die Ergebnisse des zweiten Versuchs weisen in die entsprechende Richtung. Anhand der verwendeten sehr einfachen Reiz-Reaktionsaufgabe konnte bei den applizierten Zweitaufgaben eine Trennlinie zwischen visuellen und kognitiven Ablenkungseffekten gezogen werden. In den übrigen Versuchen ist dies nicht gelungen. Unklar bleibt, ob dieser Befund allein auf methodische Gründe oder auf Unzulänglichkeiten der Theorie zurückgeführt werden muss. Sehr wahrscheinlich sind beide Aspekte verantwortlich für das

diffuse Ergebnisbild. Zum Ersten kann die Stufendimension der Theorie multipler Ressourcen offenbar nicht in disjunkte Verarbeitungsbestandteile zerlegt werden. Nahezu jede bewusst bearbeitete visuelle Aufgabe besitzt immer auch kognitive Verarbeitungsanteile (Engström et al., 2005; Liang & Lee, 2010). Das heißt bis auf rein auditive Aufgaben sind visuelle und kognitive Informationsverarbeitungsprozesse in der Regel stark miteinander verwoben (Engström & Markkula, 2007). Zum Zweiten wurde vor allem die kognitiv beanspruchende Primäraufgabe der Kreisverkehrnavigation aus den Versuchen 3 und 4 nicht ausreichend pointiert, um stabile Messeffekte hervortreten zu lassen. Da Reaktionszeitmaße offenbar nicht geeignet sind, die durch die sequentielle Aufgabentaktung verzögert wirkenden Ablenkungswirkungen adäquat abzubilden (siehe Abschnitte 4.4.3 und 4.5.3), sollten in künftigen Untersuchungen Navigationsanforderungen gestellt werden, die deutlich mehr Entscheidungssituationen als in den Versuchen 3 und 4 enthalten und somit zu potentiell mehr Entscheidungsfehlern führen können. Das Maß der Entscheidungsfehler bleibt vielversprechend und lohnt einer weiterführenden Untersuchung. Die Messung visueller Ablenkung sollte also mit Hilfe von Reaktionszeitmaßen erfolgen. Für die Messung kognitiver Ablenkung sollten vornehmlich Fehlermaße betrachtet werden.

Literaturverzeichnis

- Alexander, G. J. & Lunenfeld, H. (1975). *Positive guidance in traffic control* (Bericht). U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Office of Traffic Operations.
- Anderson, J. R. (1996). ACT: A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51 (4), 355–365.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M., Douglass, S., Lebiere, C. & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 111 (4), 1036–1060. doi: 10.1037/0033-295X.111.4.1036
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bach, K. M., Jäger, M. G., Skov, M. B. & Thomassen, N. G. (2009). Interacting with in-vehicle systems: Understanding, measuring, and evaluating attention. In *Proceedings of the 23rd british HCI group annual conference on people and computers: Celebrating people and technology*. Swinton, UK: British Computer Society.
- Baddeley, A. D. (1968). A 3 min reasoning test based on grammatical transformation. *Psychonomic Science*, 10 (10), 341–342.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human memory: Theory and practice*. Boston: Allyn and Bacon.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7 (2), 85–97. doi: 10.1027//1016-9040.7.2.85
- Baddeley, A. D. & Wilson, B. (1985). Phonological coding and short-term memory in patients without speech. *Journal of Memory and Language*, 24 (4), 490–502. doi: 10.1016/0749-596X(85)90041-5
- Band, G. P. H., Jolicœur, P., Akyürek, E. G. & Memelink, J. (2006). Integrative views on dual-task costs. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18 (4), 481–492. doi: 10.1080/09541440500422675
- Baumann, M., Keinath, A., Krems, J. F. & Bengler, K. (2004). Evaluation of in-vehicle HMI using occlusion techniques: Experimental results and practical implications. *Applied Ergonomics*, 35 (3), 197–204.
- Baumann, M., Petzold, T. & Krems, J. (2006). Situation Awareness beim Autofahren als Verstehensprozess. *MMI Interaktiv*, 11, 43–57. Online. (Retrieved January 22, 2007)
- Baumann, M., Rösler, D. & Krems, J. F. (2009). A procedure to estimate the effects of cognitive and visual distraction of in-car tasks on situation awareness while driving. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63, 33–43.
- Baumann, M., Rösler, D., Krems, J. F. & Keinath, A. (2005). Eine Methode zur gleichzeitigen Erfassung visueller und kognitiver Anforderungen bei Aufgaben im Fahrkontext. In L. Urbas & C. Steffens (Hrsg.), *Zustandserkennung und Systemgestaltung* (S. 47–52). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Bellinger, D. B., Budde, B. M., Machida, M., Richardson, G. B. & Berg, W. P. (2009). The effect of cellular telephone conversation and music listening on response time in braking. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12 (6), 441–451. doi: 10.1016/j.trf.2009.08.007
- Bernotat, R. (1964). Der Mensch als Element des Flugführungssystems. *Luftfahrttechnik, Raumfahrttechnik*, 10, 66–68.

- Bernotat, R. (1970). Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13 (3), 353–377.
- Boles, D. B. (1991). Factor analysis and the cerebral hemispheres: Pilot study and parietal functions. *Neuropsychologia*, 29 (1), 59–91.
- Boles, D. B. (1992). Factor analysis and the cerebral hemispheres: Temporal, occipital and frontal functions. *Neuropsychologia*, 30 (11), 963–988.
- Boles, D. B., Bursk, J. H., Phillips, J. B. & Perdelwitz, J. R. (2007). Predicting dual-task performance with the Multiple Resource Questionnaire (MRQ). *Human Factors*, 49 (1), 32–45.
- Boles, D. B. & Law, M. B. (1998). A simultaneous task comparison of differentiated and undifferentiated hemispheric resource theories. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24 (1), 204–215.
- Boles, D. B. & Phillips, J. B. (2007). A reply to the methodological and theoretical concerns of Vidulich and Tsang. *Human Factors*, 49 (1), 50–52.
- Bornemann, E. (1942a). Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. 1. Teil: Ausarbeitung der Methode. *Arbeitsphysiologie*, 12, 142–172.
- Bornemann, E. (1942b). Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. 2. Teil: Praktische Ergebnisse. *Arbeitsphysiologie*, 12, 173–191.
- Brown, I. & Poulton, E. (1961). Measuring the spare 'mental capacity' of car drivers by a subsidiary task. *Ergonomics*, 4, 35–40.
- Brown, I., Tickner, A. & Simmonds, D. (1969). Interference between concurrent tasks of driving and telephoning. *Journal of Applied Psychology*, 53 (5), 419–424.
- Burns, P. C. (1998). Wayfinding errors while driving. *Journal of Environmental Psychology*, 18 (2), 209–217. doi: 10.1006/jevp.1998.0077
- Cacciabue, P. C. (Hrsg.). (2007). *Modelling driver behaviour in automotive environments*. London: Springer.
- Chalmé, S., Visser, W. & Denis, M. (2004). Cognitive effects of environmental knowledge on urban route planning strategies. In T. Rothengatter & R. D. Huguenin (Hrsg.), *Traffic and transport psychology: Proceedings of the ICTTP 2000* (S. 61–71). Amsterdam: Elsevier.
- Chase, W. G. & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4 (1), 55–81. doi: 10.1016/0010-0285(73)90004-2
- Cooper, J. M. & Strayer, D. L. (2008). Effects of simulator practice and real-world experience on cell-phone-related driver distraction. *Human Factors*, 50 (6), 893–902. doi: 10.1518/001872008X374983
- de Rammelaere, S., Stuyven, E. & Vandierendonck, A. (2001). Verifying simple arithmetic sums and products: Are the phonological loop and the central executive involved? *Memory & Cognition*, 29 (2), 267–273. doi: 10.3758/BF03194920
- DeStefano, D. & LeFevre, J. (2004). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16 (3), 353–386. doi: 10.1080/09541440244000328
- DIN EN ISO 15005. (2003). *Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und -assistenzsystemen – Grundsätze und Prüfverfahren des Dialogmanagements*. Berlin: Beuth.
- Donges, E. (1978). Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 24, 98–112.
- Donges, E. (1982). Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie*, 2, 183–190.
- Donges, E. (1993). Das Prinzip Vorhersehbarkeit als Auslegungskonzept für Maßnahmen zur Aktiven Sicherheit im Straßenverkehrssystem. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 9, 241–246.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 32–64. doi: 10.1518/001872095779049543
- Engström, J., Johansson, E. & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F*, 8, 97–120. doi: 10.1016/j.trf.2005.04.012

- Engström, J. & Markkula, G. (2007). Effects of visual and cognitive distraction on lane change test performance. In *Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*. Iowa City, IA: University of Iowa, Public Policy Center.
- Färber, B. (1987). *Geteilte Aufmerksamkeit: Grundlagen und Anwendungen im motorisierten Straßenverkehr*. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fastenmeier, W. & Gstalter, H. (1998). Ablenkungseffekte durch neuartige Systeme im Fahrzeug. In H.-P. Willumeit & H. Kolrep (Hrsg.), *Wohin führen Unterstützungssysteme? Entscheidungshilfe und Assistenz in Mensch-Maschine-Systemen (ZMMS Spektrum Band 5)* (S. 70–82). Sinzheim: Pro Universitate Verlag.
- Foss, D. J. & Dowell, B. E. (1971). High-speed memory retrieval with auditorily presented stimuli. *Perception & Psychophysics*, 9 (6), 465–468.
- Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behavior as threat avoidance. *Ergonomics*, 27 (11), 1139–1155.
- Gelau, C., Henning, M. J. & Krems, J. F. (2009). On the reliability of the occlusion technique as a tool for the assessment of the HMI of in-vehicle information and communication systems. *Applied Ergonomics*, 40, 181–184. doi: 10.1016/j.apergo.2008.04.008
- Gelau, C., Keinath, A., Baumann, M., Bengler, K. & Krems, J. F. (1999a). Die Bewertung von Informationsdarstellungen im Fahrzeug mit der Okklusionsmethode. In F. Meyer-Gramcko (Hrsg.), *Verkehrspsychologie auf neuen Wegen: Herausforderungen von Straße, Wasser, Luft und Schiene* (S. 185–191). Bonn: Deutscher Psychologen Verlag.
- Gelau, C., Keinath, A., Baumann, M., Bengler, K. & Krems, J. F. (1999b). Die Okklusionsmethode als Verfahren zur Bewertung von visuellen Displaydarstellungen in Kraftfahrzeugen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 53, 51–57.
- Gelau, C. & Schindhelm, R. (2010). Enhancing the occlusion technique as an assessment tool for driver visual distraction. *IET Intelligent Transport Systems*, 4 (4), 346–355. doi: 10.1049/iet-its.2009.0115
- Goldstein, D. G. & Gigerenzer, G. (2002). Models of ecological rationality: The recognition heuristic. *Psychological Review*, 109 (1), 75–90. doi: 10.1037//0033-295X.109.1.75
- Gopher, D. & Donchin, M. (1986). Workload – an examination of the concept. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance. Vol. II: Cognitive processes and performance* (S. 41.1–41.49). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Hacker, W. (1973). *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Hacker, W. (1986). *Arbeitspsychologie*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Hale, A., Stoop, J. & Hommels, J. (1990). Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems. *Ergonomics*, 33 (10/11), 1377–1387.
- Hancock, P. A., Lesch, M. & Simmons, L. (2003). The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accident Analysis & Prevention*, 35 (4), 501–514. doi: 10.1016/S0001-4575(02)00028-3
- Harbluk, J. L., Burns, P. C., Lochner, M. & Trbovich, P. L. (2007). Using the lane-change test (LCT) to assess distraction: Tests of visual-manual and speech-based operation of navigation system interfaces. In *Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*.
- Heuer, H. (1996). Doppeltätigkeiten. In O. Neumann & A. F. Sanders (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, C/II/2, Aufmerksamkeit* (S. 163–218). Göttingen: Hogrefe.
- Hirst, W. (1986). The psychology of attention. In J. E. LeDoux & W. Hirst (Hrsg.), *Mind and brain: dialogues in cognitive neuroscience* (S. 105–141). Cambridge, New York, NY: Cambridge University Press.
- Horrey, W. J. & Wickens, C. D. (2003). Multiple resource modeling of task interference in vehicle control, hazard awareness and in-vehicle task performance. In *Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*. Iowa City, IA: University of Iowa, Public Policy Center.

- Howell, D. C. (2002). *Statistical methods for psychology* (5. Aufl.). Pacific Grove: Duxbury.
- Huguenin, R. D. (1982). Zur Problematik von Risikokompensationstheorien in der Verkehrspsychologie. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 28, 180–187.
- ISO 16673. (2007). *Road vehicles – ergonomic aspects of transport information and control systems – occlusion method to assess visual demand due to the use of in-vehicle systems*. Geneva, Switzerland: ISO.
- Johannsen, G. (1976). Nebenaufgaben als Beanspruchungsmessverfahren in Fahrzeugführungsaufgaben. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 30(2 NF) (1), 45–50.
- Johannsen, G. (1979). Workload and workload measurement. In N. Moray (Hrsg.), *Mental workload. Its theory and measurement* (S. 3–11). New York, NY: Plenum Press.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin, Heidelberg, New York, NY: Springer.
- John, B. E. & Kieras, D. (1996). Using GOMS for user interface design and evaluation: Which technique? *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 3 (4), 287–319.
- Jürgensohn, T. (2007). Control theory models of the driver. In P. C. Cacciabue (Hrsg.), *Modelling driver behaviour in automotive environments* (S. 277–292). London: Springer.
- Keinath, A., Baumann, M., Gelau, C., Bengler, K. & Krems, J. F. (2001). Occlusion as a technique for evaluating in-car displays. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics volume five – aerospace and transportation systems* (S. 391–397). Aldershot: Ashgate.
- Keskinen, E., Hatakka, M., Laapotti, S., Katila, A. & Peräaho, M. (2004). Driver behavior as a hierarchical system. In T. Rothengatter & R. D. Huguenin (Hrsg.), *Traffic and transport psychology: Proceedings of the ICTTP 2000* (S. 9–24). Amsterdam: Elsevier.
- Kieras, D. (1997). A guide to GOMS model usability evaluation using NGOMSL. In M. G. Helander, T. K. Landauer & P. V. Prabhu (Hrsg.), *Handbook of human-computer interaction* (2nd Aufl., S. 733–766). Amsterdam: Elsevier.
- Knappe, G., Keinath, A. & Meinecke, C. (2006, 12). Empfehlung für die Bestimmung der Spurhaltungsgüte im Kontext der Fahrsimulation. *MMI-Interaktiv*, 11, 3–13. Online. (Retrieved January 22, 2007)
- Knowles, W. (1963). Operator loading tasks. *Human Factors*, 5, 155–161.
- Krems, J. F., Keinath, A., Baumann, M., Gelau, C. & Bengler, K. (2000). Evaluating visual display designs in vehicles: Advantages and disadvantages of the occlusion technique. In L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh & H.-H. Erbe (Hrsg.), *Advances in network enterprises* (S. 361–368). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Krems, J. F., Keinath, A., Baumann, M. & Jahn, G. (2004). Die Okklusionsmethode: Ein einfaches und valides Verfahren zur Bewertung der visuellen Beanspruchung von Zweitaufgaben? In B. Schlag (Hrsg.), *Verkehrspsychologie* (S. 335–339). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Kuttila, M. H., Jokela, M., Mäkinen, T., Viitanen, J., Markkula, G. & Victor, T. W. (2007). Driver cognitive distraction detection: Feature estimation and implementation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 221, 1027–1040. doi: 10.1243/09544070JAUTO332
- Kyllonen, P. C. & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, 14 (4), 389–433. doi: 10.1016/S0160-2896(05)80012-1
- Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M. & Summala, H. (1999). Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis & Prevention*, 31 (6), 617–623. doi: 10.1016/S0001-4575(99)00018-4
- Lansdown, T. C., Burns, P. C. & Parkes, A. M. (2004). Perspectives on occlusion and requirements for validation. *Applied Ergonomics*, 35 (3), 225–232. doi: 10.1016/j.apergo.2003.11.013
- Liang, Y. (2009). *Detecting driver distraction*. Unveröffentlichte Dissertation, University of Iowa, Iowa. Zugriff auf <http://ir.uiowa.edu/etd/248>
- Liang, Y. & Lee, J. D. (2010). Combining cognitive and visual distraction: Less than the sum of its parts. *Accident Analysis & Prevention*, 42 (3), 881–890. doi: 10.1016/j.aap.2009.05

.001

- MacDonald, W. A. & Hoffmann, E. R. (1980). Review of relationships between steering wheel reversal rate and driving task demand. *Human Factors*, 22 (6), 733–739.
- Martens, M. & van Winsum, W. (2000). *Measuring distraction: the Peripheral Detection Task* (Bericht). Soesterberg: TNO Human Factors Research Institute.
- Mattes, S. (2003). The lane change task as a tool for driver distraction evaluation. In K. Kluth, H. Rausch & H. Bubb (Hrsg.), *Ergonomics quality of work and products in enterprises of the future. proceedings of the annual spring conference of the gfa* (S. 57–60). Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Matthews, G., Sparkes, T. J. & Bygrave, H. M. (1996). Attentional overload, stress, and simulated driving performance. *Human Performance*, 9 (1), 77–101.
- McRuer, D. T., Allen, R. W., Weir, D. H. & Klein, R. H. (1977). New results in driver steering control models. *Human Factors*, 19 (4), 381–397.
- Meinel, J. & Krauß, L. (2008). Messung kognitiver Fahrerablenkung anhand des Navigationsverhaltens in einem Simulationsexperiment. In VDI-GMA (Hrsg.), *USEWARE 2008* (S. 55–65). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Meinel, J. & Langer, S. (2007). Quantifizierung des visuellen und kognitiven Ressourcenbedarfs typischer an einem Fahrerinformationssystem auszuführender Bedienaufgaben. In M. Rötting, G. Wozny, A. Klostermann & J. Huss (Hrsg.), *Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion (ZMMS Spektrum Band 21)* (S. 367–370). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Metz, B., Schömig, N. & Krüger, H.-P. (2011). Attention during visual secondary tasks in driving: Adaptation to the demands of the driving task. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14 (5), 369–380. doi: 10.1016/j.trf.2011.04.004
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Hrsg.), *Human behavior and traffic safety* (S. 485–520). New York, NY: Plenum Press.
- Milgram, P. (1987). A spectacle-mounted liquid-crystal tachistoscope. *Research, Methods, Instruments, & Computers*, 19 (5), 449–456.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7 (7), 134–140. doi: 10.1016/S1364-6613(03)00028-7
- Neumann, O. (1987). Beyond capacity: a functional view of attention. In H. Heuer & A. F. Sanders (Hrsg.), *Perspectives on perception and action* (S. 361–394). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau*, 43, 83–101.
- Neumann, O. (1996). Theorien der Aufmerksamkeit. In O. Neumann & A. F. Sanders (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, C/II/2, Aufmerksamkeit* (S. 559–643). Göttingen: Hogrefe.
- Neumann, O. & Sanders, A. F. (Hrsg.). (1996). *Enzyklopädie der Psychologie, C/II/2, Aufmerksamkeit*. Göttingen: Hogrefe.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA, London: Harvard University Press.
- Norman, D. A. & Shallice, T. (1980). *Attention to action. Willed and automatic control of behavior* (Bericht Nr. 99). San Diego, CA: University of California, Centre for Human Information Processing.
- Näätänen, R. & Summala, H. (1974). A model for the role of motivational factors in drivers' decision-making. *Accident Analysis and Prevention*, 6, 243–261.
- Odgen, G. D., Levine, J. M. & Eisner, E. J. (1979). Measurement of workload by secondary tasks. *Human Factors*, 21 (5), 529–548.
- O'Donnell, R. D. & Eggemeier, F. T. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance, Vol. II: Cognitive processes and performance* (S. 42.1–42.49). New York, NY: John Wiley & Sons.

- Östlund, J., Nilsson, L., Törnros, J. & Åsa Forsman. (2006). *Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving. VTI rapport 533A* (Bericht). Linköping: VTI.
- Petzoldt, T., Bär, N., Ihle, C. & Krems, J. F. (2011). Learning effects in the lane change task (LCT) – evidence from two experimental studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14 (1), 1–12. doi: 10.1016/j.trf.2010.09.001
- Pew, R. W. (1979). Secondary task and workload measurement. In N. Moray (Hrsg.), *Mental workload. Its theory and measurement* (S. 23–28). New York, NY: Plenum Press.
- Graf Hoyos, C. & Kastner, M. (1986). Belastung und Beanspruchung von Kraftfahrern. *Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr*, 59.
- Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accident Analysis and Prevention*, 26 (6), 733–750.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, 13 (3), 257–266.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. Amsterdam: Elsevier.
- Regan, M. A., Hallett, C. & Gordon, C. P. (2011). Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy. *Accident Analysis & Prevention*, 43 (5), 1771–1781. doi: 10.1016/j.aap.2011.04.008
- Renner, G. J. (1995). *Fahrzeugführung unter kognitiver Belastung. Eine Simulationsstudie*. Unveröffentlichte Dissertation, Philosophische Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- Rogers, M., Zhang, Y., Kaber, D., Liang, Y. & Gangakhedkar, S. (2011). The effects of visual and cognitive distraction on driver situation awareness. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics HCII 2011* (S. 186–195). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rolfe, J. (1971). The secondary task as a measure of mental load. In W. Singleton (Hrsg.), *Measurement of man at work* (S. 135–148). London: Taylor & Francis.
- Salvucci, D. D. (2001). Predicting the effects of in-car interfaces on driver behavior using a cognitive architecture. *CHI Letters*, 3 (1), 120–127.
- Salvucci, D. D. (2005). A multitasking general executive for compound continuous tasks. *Cognitive Science*, 29, 457–492.
- Salvucci, D. D. (2006). Modeling driver behavior in a cognitive architecture. *Human Factors*, 48, 362–380.
- Salvucci, D. D. & Grey, R. (2004). A two-point visual control model of steering. *Perception*, 33 (10), 1233–1248.
- Sarno, K. J. & Wickens, C. D. (1995). Role of multiple resources in predicting time-sharing efficiency: Evaluation of three workload models in a multiple-task setting. *International Journal of Aviation Psychology*, 5 (1), 107–130.
- Schmidt, U. & Kindschüller, M. C. (1996). *Kognitive Modellierung: Eine Einführung in die logischen und algorithmischen Grundlagen*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84 (1), 1–66.
- Schweigert, M. (2002). *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Unveröffentlichte Dissertation, Technische Universität München.
- Simon, J. R. & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51 (3), 300–304.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of donders' method. *Acta Psychologica*, 30, 276–315.
- Sternberg, S. (1975). Memory scanning: New findings and current controversies. *Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 27, 1–32.
- Strayer, D. L. & Drews, F. A. (2007). Cell-phone induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*, 16 (3). doi: 10.1111/j.1467-8721.2007.00489.x

- Strayer, D. L. & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science*, 12 (6), 462–466. doi: 10.1111/1467-9280.00386
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643–662.
- Sydow, H. & Petzold, P. (1982). *Mathematische Psychologie*. Berlin, Heidelberg, New York, NY: Springer.
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2001). *Using multivariate statistics* (4. Aufl.). Boston: Allyn and Bacon.
- Teichner, W. H. & Krebs, M. J. (1974). Laws of visual choice reaction time. *Psychological Review*, 81 (1), 75–98.
- Theofanou, D. (2002). *Maße zur Erfassung von visueller Ablenkung bei verschiedenen komplexen Streckenabschnitten*. Unveröffentlichte Dissertation, Universität Regensburg.
- Timpe, K.-P. (2001). Fahrzeugführung: Anmerkungen zum Thema. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S. 9–38). Berlin, Heidelberg, New York, NY: Springer.
- Toutenburg, H. (2002). *Statistical analysis of designed experiments* (4. Aufl.). New York, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Trbovich, P. & Harbluk, J. L. (2003). Cell phone communication and driver visual behavior: The impact of cognitive distraction. In *Chi 2003 new horizons* (S. 728–729). New York, NY: ACM Press. doi: 10.1145/765891.765954
- Treisman, A. M. (1977). Focused attention in the perception and retrieval of multidimensional stimuli. *Perception & Psychophysics*, 22 (1), 1–11.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12 (1), 97–136.
- van der Horst, R. (2004). Occlusion as a measure for visual workload: an overview of TNO occlusion research in car driving. *Applied Ergonomics*, 35 (3), 189–196. doi: 10.1016/j.apergo.2003.11.010
- Verwey, W. B. (1993). How can we prevent overload of the driver? In A. M. Parkes & S. Franzén (Hrsg.), *Driving future vehicles* (S. 235–244). London, Washington, DC: Taylor & Francis.
- Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation. effects of road situation and age on secondary task measures. *Ergonomics*, 43 (2), 187–209.
- Victor, T. (2005). *Keeping eye and mind on the road*. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis.
- Vidulich, M. A. & Tsang, P. S. (2007). Methodological and theoretical concerns in multitask performance: A critique of Boles, Bursk, Phillips, and Perdelwitz. *Human Factors*, 49 (1), 46–49.
- von Klebelsberg, D. (1971). Subjektive und objektive Sicherheit im Straßenverkehr als Aufgabe für die Verkehrssicherheitsarbeit. In *Schriftenreihe der deutschen Verkehrswacht* 51.
- Weir, D. H. & Chao, K. C. (2007). Review of control theory models for directional and speed control. In P. C. Cacciabue (Hrsg.), *Modelling driver behaviour in automotive environments* (S. 293–311). London: Springer.
- Weir, D. H., Chiang, D. P. & Brooks, A. M. (2003). A study of the effect of varying visual occlusion and task duration conditions on driver behavior and performance while using a secondary task human-machine interface. *SAE transactions*, 112 (6), 39–51.
- Weir, D. H. & McRuer, D. T. (1970). Dynamics of driver vehicle steering control. *Automatica*, 6, 87–98.
- Wesley, A., Shastri, D. & Pavlidis, I. (2010). A novel method to monitor driver's distractions. In *Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on human factors in computing systems*. New York, NY: ACM Press. doi: 10.1145/1753846.1754138
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. S. Nickerson (Hrsg.), *Attention and performance VIII* (S. 239–257). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wickens, C. D. (1991). Processing resources and attention. In D. Damos (Hrsg.), *Multiple-task performance* (S. 3–34). London: Taylor & Francis.

- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (2), 159–177. doi: 10.1080/14639220210123806
- Wickens, C. D. (2007). How many resources and how to identify them? Commentary on Boles et al. and Vidulich and Tsang. *Human Factors*, 49 (1), 53–56.
- Wickens, C. D. (2008a). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50 (3), 449–455. doi: 10.1518/001872008X288394
- Wickens, C. D. (2008b). Situation awareness: Review of Mica Endsley’s 1995 articles on situation awareness theory and measurement. *Human Factors*, 50 (3), 397–403. doi: 10.1518/001872008X288420
- Wickens, C. D., Dixon, S. R. & Seppelt, B. (2005). Auditory preemption versus multiple resources: Who wins in interruption management? *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, Cognitive Engineering and Decision Making*, 5, 463–467.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance* (3rd Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Hyman, F., Dellinger, J., Taylor, H. & Meador, M. (1986). The Sternberg memory task as an index of pilot workload. *Ergonomics*, 29 (11), 1371–1383.
- Wickens, C. D. & McCarley, J. S. (2008). *Applied attention theory*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Wilde, G. J. S. (1982). The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209–225.
- Wilde, G. J. S. (1988). Risk homeostasis theory and traffic accidents: propositions, deductions and discussion of dissension in recent reactions. *Ergonomics*, 31 (4), 441–468.
- Young, K. L., Regan, M. A. & Hammer, M. (2003). *Driver distraction: A review of the literature* (Bericht Nr. 206). Victoria: Monash University Accident Research Center.

Anhang I. Anhang zur experimentellen Untersuchung

A.1 Anhang zu Versuch 1

A.1.1 Primäraufgabe

Reaktionszeiten

Tabelle A.1

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	Z-O1	Z-O2	Z-O3	Z-Z1	Z-Z2	Z-L1	Z-L2
Z-O1		-92.063 *	-228.905 *	-224.502 *	-510.087 *	-208.313 *	-350.116 *
Z-O2	92.063 *		-136.842 *	-132.438 *	-418.024 *	-116.249 *	-258.052 *
Z-O3	228.905 *	136.842 *		4.404	-281.182 *	20.592	-121.210
Z-Z1	224.502 *	132.438 *	-4.404		-285.586 *	16.189	-125.614
Z-Z2	510.087 *	418.024 *	281.182 *	285.586 *		301.775 *	159.972 *
Z-L1	208.313 *	116.249 *	-20.592	-16.189	-301.775 *		-141.803 *
Z-L2	350.116 *	258.052 *	121.210	125.614	-159.972 *	141.803 *	

Tabelle A.2

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)

	P-E1	P-E2	P-W
P-E1		87.700 *	22.233
P-E2	-87.700 *		-65.467 *
P-W	-22.233	65.467 *	

Tabelle A.3

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	Z-O...	Z-Z...	Z-L...
Z-O...		-260.305 *	-172.225 *
Z-Z...	260.305 *		88.080
Z-L...	172.225 *	-88.080	

Tabelle A.4

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)

	P-E1	P-E2	P-W
P-E1		85.571 *	20.102
P-E2	-85.571 *		-65.469 *
P-W	-20.102	65.469 *	

Falsche Reaktionen

Tabelle A.5

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	Z-O1	Z-O2	Z-O3	Z-Z1	Z-Z2	Z-L1	Z-L2
Z-O1		.013	-1.269 *	-2.321 *	-3.590 *	-1.244 *	-2.462 *
Z-O2	-.013		-1.282 *	-2.333 *	-3.603 *	-1.256 *	-2.474 *
Z-O3	1.269 *	1.282 *		-1.051	-2.321 *	.026	-1.192 *
Z-Z1	2.321 *	2.333 *	1.051		-1.269	1.077 *	-.141
Z-Z2	3.590 *	3.603 *	2.321 *	1.269		2.346 *	1.128
Z-L1	1.244 *	1.256 *	-.026	-1.077 *	-2.346 *		-1.218 *
Z-L2	2.462 *	2.474 *	1.192 *	.141	-1.128	1.218 *	

Tabelle A.6

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)

	P-E1	P-E2	P-W
P-E1		.291	-.269
P-E2	-.291		-.560 *
P-W	.269	.560 *	

Tabelle A.7

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	Z-O...	Z-Z...	Z-L...
Z-O...		−2.536*	−1.434*
Z-Z...	2.536*		1.103*
Z-L...	1.434*	−1.103*	

Tabelle A.8

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)

	P-E1	P-E2	P-W
P-E1		.256	−.303
P-E2	−.256		−.560*
P-W	.303	.560*	

Verpasste Reaktionen

Tabelle A.9

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	Z-O1	Z-O2	Z-O3	Z-Z1	Z-Z2	Z-L1	Z-L2
Z-O1		−.500*	−2.487*	−1.731*	−5.564*	−2.551*	−3.449*
Z-O2	.500*		−1.987*	−1.231*	−5.064*	−2.051*	−2.949*
Z-O3	2.487*	1.987*		.756	−3.077*	−.064	−.962
Z-Z1	1.731*	1.231*	−.756		−3.833*	−.821	−1.718*
Z-Z2	5.564*	5.064*	3.077*	3.833*		3.013*	2.115
Z-L1	2.551*	2.051*	.064	.821	−3.013*		−.897
Z-L2	3.449*	2.949*	.962	1.718*	−2.115	.897	

Tabelle A.10

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)

	P-E1	P-E2	P-W
P-E1		.863*	.330
P-E2	-.863*		-.533*
P-W	-.330	.533*	

Tabelle A.11

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	Z-O...	Z-Z...	Z-L...
Z-O...		-2.652*	-2.004*
Z-Z...	2.652*		.647
Z-L...	2.004*	-.647	

Tabelle A.12

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl verpasster Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Primäraufgabe (* $p < .05$)

	P-E1	P-E2	P-W
P-E1		.900*	.303
P-E2	-.900*		-.596*
P-W	-.303	.596*	

A.1.2 Zweitaufgaben

Zählen

Tabelle A.13

Deskriptive Statistik der Anzahl gezählter Zahlen und Zählfehler in der Versuchsbedingung Zählen ($N = 26$)

Primäraufgabe	Anzahl gezählter Zahlen				Zählfehler			
	min.	max.	M	SD	min.	max.	M	SD
Vorwärtszählen (Z-Z1)								
P-E1	34	151	76.58	25.42	0	3	.35	.69
P-E2	30	154	74.15	23.92	0	2	.31	.55
P-W	29	155	71.00	23.63	0	2	.27	.53
M	31	153.33	73.91	24.32	0	2.33	.31	.59
Rückwärtszählen (Z-Z2)								
P-E1	10	70	34.23	13.52	0	8	1.85	2.13
P-E2	10	92	36.27	15.80	0	5	1.42	1.36
P-W	7	95	35.04	17.24	0	9	2.27	2.46
M	9	85.67	35.18	15.52	0	7.33	1.85	1.98

Logisches Schließen

Tabelle A.14

Deskriptive Statistik der mittleren Antwortzeiten richtiger und falscher Antworten in der Versuchsbedingung Logisches Schließen in ms

Primäraufgabe	N	min.	max.	M	SD
Baseline (Z-L2)					
	26	497.50	1781.00	1045.26	385.48
Logisches Schließen einfach (Z-L1)					
P-E1	26	375.68	2112.55	1118.32	493.99
P-E2	26	581.09	2410.76	1101.82	434.24
P-W	25	591.59	2433.15	1116.99	456.74
M		516.12	2318.82	1112.38	461.66
Logisches Schließen schwer (Z-L2)					
P-E1	26	724.95	2403.64	1502.16	528.71
P-E2	26	720.48	2664.90	1517.12	555.55
P-W	26	633.90	2515.94	1422.68	454.66
M		693.11	2528.16	1480.65	512.97

Tabelle A.15

Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl Antwortfehler in der Versuchsbedingung Logisches Schließen

Primäraufgabe	<i>N</i>	falsche Antworten				verpasste Antworten			
		min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Baseline									
	26	0	3	.77	1.11	0	1	.04	.20
Logisches Schließen einfach (Z-L1)									
P-E1	26	0	7	1.27	1.89	0	3	.31	.74
P-E2	26	0	8	.96	1.68	0	4	.31	.84
P-W	25	0	8	1.16	1.75	0	3	.32	.75
<i>M</i>		0	7.67	1.13	1.77	0	3.33	.31	.78
Logisches Schließen schwer (Z-L2)									
P-E1	26	0	11	3.31	3.15	0	7	.85	1.78
P-E2	26	0	12	4.04	3.36	0	9	.92	1.94
P-W	26	0	14	3.77	3.94	0	4	.65	1.23
<i>M</i>		0	12.33	3.71	3.48	0	6.67	.81	1.65

A.2 Anhang zu Versuch 2

A.2.1 Primäraufgabe

Reaktionszeiten

Tabelle A.16

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	V1	V2	R1	R2	G1	G2	G3
V1		−293.508 *	140.106 *	73.777	141.755 *	131.466 *	142.031 *
V2	293.508 *		433.615 *	367.286 *	435.263 *	424.974 *	435.539 *
R1	−140.106 *	−433.615 *		−66.329 *	1.648	−8.641	1.925
R2	−73.777	−367.286 *	66.329 *		67.977 *	57.688	68.254 *
G1	−141.755 *	−435.263 *	−1.648	−67.977 *		−10.289	.276
G2	−131.466 *	−424.974 *	8.641	−57.688	10.289		10.565
G3	−142.031 *	−435.539 *	−1.925	−68.254 *	−.276	−10.565	

Tabelle A.17

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Reaktionszeiten richtiger Reaktionen in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	V...	R...	G...
V...		253.696 *	285.171 *
R...	−253.696 *		31.475
G...	−285.171 *	−31.475	

Falsche Reaktionen

Tabelle A.18

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	V1	V2	R1	R2	G1	G2	G3
V1		−1.440	.760	.360	.880	.680	1.280 *
V2	1.440		2.200 *	1.800	2.320 *	2.120	2.720 *
R1	−.760	−2.200 *		−.400	.120	−.080	.520
R2	−.360	−1.800	.400		.520	.320	.920
G1	−.880	−2.320 *	−.120	−.520		−.200	.400
G2	−.680	−2.120	.080	−.320	.200		.600
G3	−1.280 *	−2.720 *	−.520	−.920	−.400	−.600	

Tabelle A.19

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	V...	R...	G...
V...		1.280*	1.667*
R...	-1.280*		.387
G...	-1.667*	-.387	

Verpasste Reaktionen

Tabelle A.20

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	V1	V2	R1	R2	G1	G2	G3
V1		-3.240*	.280	.440	.680	.600	.920
V2	3.240*		3.520*	3.680*	3.920*	3.840*	4.160*
R1	-.280	-3.520*		.160	.400	.320	.640
R2	-.440	-3.680*	-.160		.240	.160	.480
G1	-.680	-3.920*	-.400	-.240		-.080	.240
G2	-.600	-3.840*	-.320	-.160	.080		.320
G3	-.920	-4.160*	-.640	-.480	-.240	-.320	

Tabelle A.21

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der pro Zweitaufgabentyp aggregierten Anzahl falscher Reaktionen in der Primäraufgabe, getrennt nach Zweitaufgabe (* $p < .05$)

	V...	R...	G...
V...		1.980*	2.353*
R...	-1.980*		.373
G...	-2.353*	-.373	

A.2.2 Zweitaufgaben

Tabelle A.22

Deskriptive Statistik der Reaktionszeiten richtiger Antworten in den Zweitaufgaben in ms

Versuchsbedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Visuelle Suche					
V1	25	1306.62	2186.93	1759.49	216.83
V2	25	2049.00	3282.90	2658.94	293.92
<i>M</i>		1677.81	2734.915	2209.22	255.38
Räumliche Ortung					
R1	24	518.02	837.02	636.10	76.28
R2	25	539.76	1016.60	742.16	132.54
<i>M</i>		528.89	926.81	689.13	104.41
Gedächtnissuche					
G1	25	611.46	1404.12	817.13	186.93
G2	25	626.61	1317.94	851.73	164.77
G3	25	604.44	1165.63	808.13	128.95
<i>M</i>		614.17	1295.90	825.66	160.22

Tabelle A.23

Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in den Zweitaufgaben

Versuchsbedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Visuelle Suche					
V1	25	0	3	0.24	0.66
V2	25	0	5	1.52	1.42
<i>M</i>		0	4	0.88	1.04
Räumliche Ortung					
R1	24	0	3	0.21	0.66
R2	25	0	1	0.04	0.20
<i>M</i>		0	2	0.13	0.43
Gedächtnissuche					
G1	25	0	1	0.08	0.28
G2	25	0	3	0.44	0.82
G3	25	0	2	0.24	0.52
<i>M</i>		0	3	0.25	0.54

Tabelle A.24

Deskriptive Statistik der Anzahl verpasster Antworten in den Zweitaufgabenbedingungen mit visueller Suche

Versuchsbedingung	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
V1	0	2	0.20	0.58
V2	0	18	6.12	5.24
<i>M</i>	0	10	3.16	2.91

A.3 Anhang zu Versuch 3

A.3.1 Primäraufgabe

Entscheidungszeiten

Tabelle A.25

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Entscheidungszeiten in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Primäraufgabenschwierigkeit (* $p < .05$)

	P-...-B7	P-...-U3	P-...-U5
P-...-B7		97.358*	-62.461
P-...-U3	-97.358*		-159.820*
P-...-U5	62.461	159.820*	

Tabelle A.26

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Entscheidungszeiten in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Versuchsbedingung (* $p < .05$)

	Z-V1	Z-V2	Z-Z	Z-L	Z-R	Z-G
Z-V1		98.664	19.937	-74.610	17.556	30.229
Z-V2	-98.664		-78.727	-173.273*	-81.108	-68.434
Z-Z	-19.937	78.727		-94.546	-2.381	10.293
Z-L	74.610	173.273*	94.546		92.165	104.839
Z-R	-17.556	81.108	2.381	-92.165		12.674
Z-G	-30.229	68.434	-10.293	-104.839	-12.674	

A.3.2 Zweitaufgaben

Visuelle Suche

Tabelle A.27

Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Zahlen in ms ($N = 19$)

Bedingung	min.	max.	M	SD
Visuelle Suche einfach (V1)				
P-Z-B7	1292.47	1896.07	1561.88	203.41
P-Z-U3	1269.07	1932.71	1555.04	163.65
P-Z-U5	1357.47	1962.21	1562.94	172.02
Visuelle Suche schwer (V2)				
P-Z-B7	1904.86	2760.21	2358.15	219.44
P-Z-U3	1605.07	3028.00	2398.67	389.62
P-Z-U5	1627.80	3223.60	2478.36	342.89

Tabelle A.28

Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Symbole in ms ($N = 20$)

Bedingung	min.	max.	M	SD
Visuelle Suche einfach (V1)				
P-S-B7	1327.33	2450.07	1702.25	282.41
P-S-U3	1270.47	2013.67	1649.74	201.31
P-S-U5	1236.53	2757.64	1701.92	317.41
Visuelle Suche schwer (V2)				
P-S-B7	1871.93	3365.64	2586.01	332.30
P-S-U3	1806.40	2947.67	2439.68	276.28
P-S-U5	2041.00	2918.92	2480.27	226.52

Tabelle A.29

Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Zahlen ($N = 19$)

Versuchsbedingung	min.	max.	M	SD
Visuelle Suche einfach (V1)				
P-S-B7	0	1	.11	.32
P-S-U3	0	2	.32	.67
P-S-U5	0	1	.32	.48
Visuelle Suche schwer (V2)				
P-S-B7	0	12	1.89	2.75
P-S-U3	0	9	1.63	2.11
P-S-U5	0	5	1.84	1.46

Tabelle A.30

Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche im Versuchsteil Symbole (N = 20)

Versuchsbedingung	min.	max.	M	SD
Visuelle Suche einfach (V1)				
P-S-B7	0	1	.25	.44
P-S-U3	0	1	.25	.44
P-S-U5	0	1	.10	.31
Visuelle Suche einfach (V1)				
P-S-B7	0	9	2.60	2.98
P-S-U3	0	10	2.80	2.55
P-S-U5	0	7	2.60	2.39

Zählen

Tabelle A.31

Deskriptive Statistik der Anzahl gezählter Zahlen, getrennt nach Versuchsteil

Bedingung	N	min.	max.	M	SD
Versuchsteil 1 (Zahlen)					
P-Z-B7	19	33	70	48.63	10.97
P-Z-U3	19	36	68	48.95	8.70
P-Z-U5	19	33	72	48.37	9.96
Versuchsteil 2 (Symbole)					
P-S-B7	20	25	59	42.90	8.96
P-S-U3	20	27	61	45.90	8.78
P-S-U5	20	23	57	43.70	8.54

Logisches Schließen

Tabelle A.32

Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen in ms, getrennt nach Versuchsteil

Bedingung	N	min.	max.	M	SD
Versuchsteil 1 (Zahlen)					
P-Z-B7	19	313.40	2057.60	840.44	365.89
P-Z-U3	19	347.10	2131.10	977.63	429.51
P-Z-U5	19	428.89	1395.60	904.43	284.11
Versuchsteil 2 (Symbole)					
P-S-B7	20	243.64	1382.09	859.84	299.22
P-S-U3	20	307.10	1712.00	955.66	330.04
P-S-U5	20	241.33	2176.50	1085.81	471.38

Tabelle A.33

Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen, getrennt nach Versuchsteil

Bedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Versuchsteil 1 (Zahlen)					
P-Z-B7	19	0	1	.26	.45
P-Z-U3	19	0	2	.21	.63
P-Z-U5	19	0	1	.37	.50
Versuchsteil 2 (Symbole)					
P-S-B7	20	0	3	.30	.92
P-S-U3	20	0	3	.50	1.00
P-S-U5	20	0	3	.80	1.06

Räumliche Ortung

Tabelle A.34

Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Räumliche Ortung in ms, getrennt nach Versuchsteil

Bedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Versuchsteil 1 (Zahlen)					
P-Z-B7	19	447.27	793.38	672.18	89.53
P-Z-U3	19	489.67	828.62	686.96	104.14
P-Z-U5	19	485.10	946.29	680.28	122.19
Versuchsteil 2 (Symbole)					
P-S-B7	20	481.71	1021.39	745.88	131.98
P-S-U3	20	571.00	1088.50	757.06	135.77
P-S-U5	20	522.95	1070.48	737.52	133.56

Tabelle A.35

Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Räumliche Ortung, getrennt nach Versuchsteil

Bedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Versuchsteil 1 (Zahlen)					
P-Z-B7	19	0	1	.11	.32
P-Z-U3	19	0	1	.05	.23
P-Z-U5	19	0	0	.00	.00
Versuchsteil 2 (Symbole)					
P-S-B7	20	0	1	.10	.31
P-S-U3	20	0	1	.05	.22
P-S-U5	20	0	0	.00	.00

Gedächtnissuche

Tabelle A.36

Deskriptive Statistik der Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Gedächtnissuche in ms, getrennt nach Versuchsteil

Bedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Versuchsteil 1 (Zahlen)					
P-Z-B7	19	608.22	1185.47	893.68	153.31
P-Z-U3	19	539.26	1154.65	841.31	142.07
P-Z-U5	19	707.39	1045.83	879.69	86.03
Versuchsteil 2 (Symbole)					
P-S-B7	20	606.67	1079.72	867.43	122.22
P-S-U3	20	653.59	1151.94	863.80	105.45
P-S-U5	20	703.17	1196.06	923.37	151.79

Tabelle A.37

Deskriptive Statistik der Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Gedächtnissuche, getrennt nach Versuchsteil

Bedingung	<i>N</i>	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Versuchsteil 1 (Zahlen)					
P-Z-B7	19	0	4	.37	1.01
P-Z-U3	19	0	2	.16	.50
P-Z-U5	19	0	1	.11	.32
Versuchsteil 2 (Symbole)					
P-S-B7	20	0	0	.00	.00
P-S-U3	20	0	1	.05	.22
P-S-U5	20	0	4	.45	1.10

A.4 Anhang zu Versuch 4

A.4.1 Versuchsmaterial

Symbolselektion

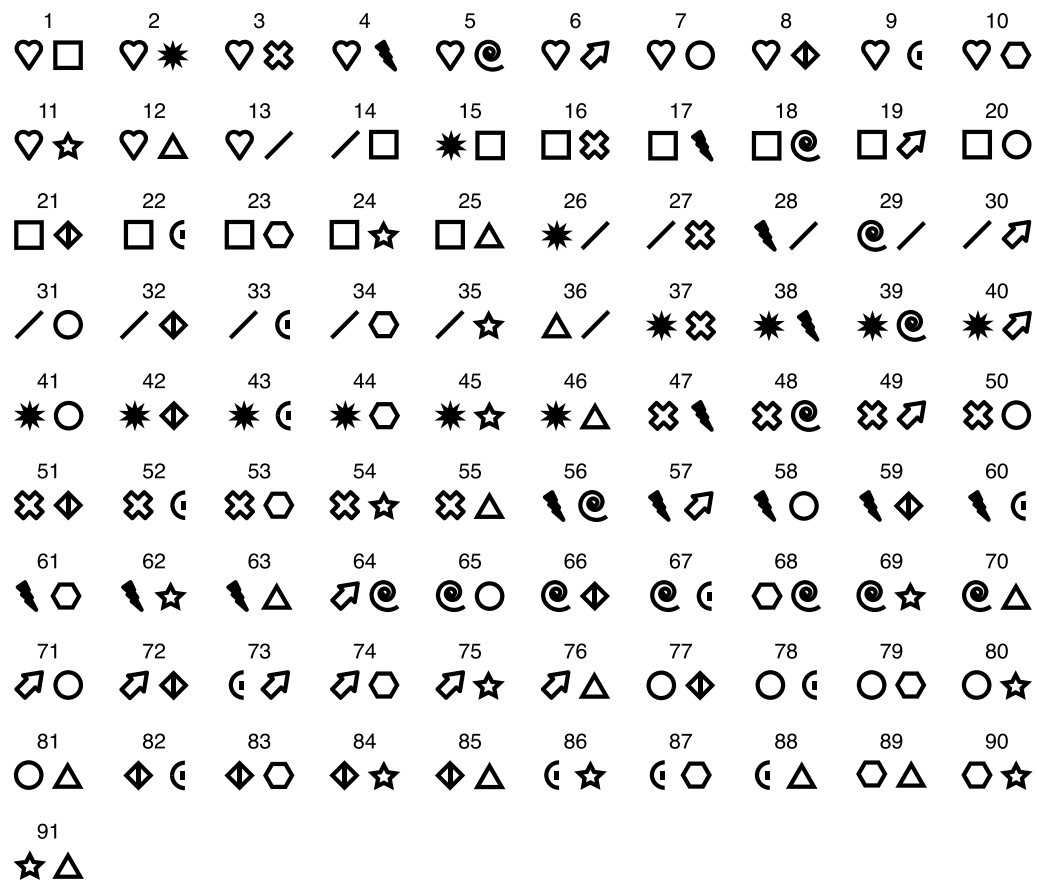


Abbildung A.1. 91 Symbolpaare zur Bewertung der Symbolähnlichkeit.

Tabelle A.38

Mittlere Ähnlichkeitsbewertung der Symbolpaare der Beurteilungsgruppe 1 (* Ähnlichkeitsbewertung größer als 3 oder nicht signifikant kleiner als Testwert 3, $p > .05$)

Symbolpaar	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Paar 1	11	1.36	.505	−10.757	10	.000
Paar 2	11	1.00	.000			
Paar 5*	11	2.36	1.286	−1.641	10	.132
Paar 8*	11	2.45	1.968	−.919	10	.380
Paar 10	11	1.91	.701	−5.164	10	.000
Paar 15	11	1.18	.405	−14.907	10	.000
Paar 18	11	1.09	.302	−21.000	10	.000
Paar 20	11	1.64	.674	−6.708	10	.000
Paar 23*	11	2.91	.831	−.363	10	.724
Paar 25	11	1.55	.688	−7.016	10	.000
Paar 29	11	1.00	.000			
Paar 31	11	1.00	.000			
Paar 36	11	1.18	.405	−14.907	10	.000
Paar 43	11	1.18	.405	−14.907	10	.000
Paar 48	11	1.55	.522	−9.238	10	.000
Paar 51	11	2.18	.874	−3.105	10	.011
Paar 52	11	1.73	.647	−6.528	10	.000
Paar 57	11	2.18	.982	−2.764	10	.020
Paar 64	11	1.45	.688	−7.455	10	.000
Paar 69	11	1.73	.467	−9.037	10	.000
Paar 72	11	2.36	.924	−2.283	10	.046
Paar 78*	11	2.73	1.009	−.896	10	.391
Paar 80	11	1.45	.688	−7.455	10	.000
Paar 81	11	1.45	.688	−7.455	10	.000
Paar 82*	11	2.45	.820	−2.206	10	.052
Paar 84*	11	3.00	.775	.000	10	1.000
Paar 85*	11	2.64	.674	−1.789	10	.104
Paar 87	11	1.73	.647	6.528	10	.000
Paar 88	11	1.45	.522	−9.815	10	.000
Paar 89*	11	2.36	1.027	−2.055	10	.067

Tabelle A.39

Mittlere Ähnlichkeitsbewertung der Symbolpaare der Beurteilungsgruppe 2 (* Ähnlichkeitsbewertung größer als 3 oder nicht signifikant kleiner als Testwert 3, $p > .05$)

Symbolpaar	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Paar 3	10	1.90	.738	−4.714	9	.001
Paar 7*	10	2.60	1.174	−1.078	9	.309
Paar 9*	10	2.30	1.059	−2.090	9	.066
Paar 14	10	1.20	.422	−13.500	9	.000
Paar 16	10	2.00	1.333	−2.372	9	.042
Paar 17	10	1.20	.422	−13.500	9	.000
Paar 22	10	1.80	1.033	−3.674	9	.005
Paar 24	10	1.60	.966	−4.583	9	.001
Paar 26	10	1.50	.707	−6.708	9	.000
Paar 27	10	1.50	.707	−6.708	9	.000
Paar 28*	10	2.50	1.080	−1.464	9	.177
Paar 30*	10	3.20	.919	.688	9	.509
Paar 35	10	1.30	.483	−11.129	9	.000
Paar 38*	10	2.50	1.354	−1.168	9	.273
Paar 41*	10	2.20	1.229	−2.058	9	.070
Paar 50	10	1.90	.876	−3.973	9	.003
Paar 54*	10	3.60	.843	2.250	9	.051
Paar 59	10	2.10	.738	−3.857	9	.004
Paar 60	10	1.80	.789	−4.811	9	.001
Paar 62*	10	2.30	1.059	−2.090	9	.066
Paar 63	10	2.10	.738	−3.857	9	.004
Paar 65*	10	3.50	.972	1.627	9	.138
Paar 66*	10	2.20	1.317	−1.922	9	.087
Paar 75	10	2.10	.738	−3.857	9	.004
Paar 76*	10	2.50	1.080	−1.464	9	.177
Paar 77	10	2.10	.994	−2.862	9	.019
Paar 83*	10	3.50	.527	3.000	9	.015
Paar 86	10	1.90	.994	−3.498	9	.007
Paar 90*	10	3.10	1.197	.264	9	.798
Paar 91*	10	3.30	1.252	.758	9	.468

Tabelle A.40

Mittlere Ähnlichkeitsbewertung der Symbolpaare der Beurteilungsgruppe 3 (* Ähnlichkeitsbewertung größer als 3 oder nicht signifikant kleiner als Testwert 3, $p > .05$)

Symbolpaar	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Paar 4	13	1.46	.660	-8.402	12	.000
Paar 6	13	2.38	.768	-2.889	12	.014
Paar 11	13	2.15	.899	-3.395	12	.005
Paar 12	13	2.38	.768	-2.889	12	.014
Paar 13	13	1.23	.439	-14.546	12	.000
Paar 19	13	2.15	.801	-3.811	12	.002
Paar 21*	13	2.77	1.092	-.762	12	.461
Paar 32	13	1.62	.650	-7.675	12	.000
Paar 33	13	1.54	.776	-6.789	12	.000
Paar 34	13	1.38	.506	-11.502	12	.000
Paar 37	13	2.46	.519	-3.742	12	.003
Paar 39*	13	2.62	.870	-1.594	12	.137
Paar 40	13	1.46	.519	-10.690	12	.000
Paar 42*	13	2.54	.967	-1.720	12	.111
Paar 44*	13	2.46	1.198	-1.620	12	.131
Paar 45*	13	4.00	.816	4.416	12	.001
Paar 46	13	1.85	.899	-4.629	12	.001
Paar 47	13	1.54	.660	-7.982	12	.000
Paar 49*	13	2.62	1.044	-1.328	12	.209
Paar 53*	13	2.77	1.013	-.822	12	.427
Paar 55	13	2.08	.641	-5.196	12	.000
Paar 56	13	1.69	.630	-7.479	12	.000
Paar 58	13	1.23	.439	-14.546	12	.000
Paar 61	13	1.31	.480	-12.702	12	.000
Paar 67*	13	3.46	.967	1.720	12	.111
Paar 68*	13	2.62	1.044	-1.328	12	.209
Paar 70	13	1.69	.751	-6.278	12	.000
Paar 71	13	2.00	.577	-6.245	12	.000
Paar 73	13	1.62	.650	-7.675	12	.000
Paar 74	13	2.46	.776	-2.501	12	.028
Paar 79*	13	4.31	.751	6.278	12	.000

GOMS-Analysen der Primäraufgaben

```
#####
# GOMS-Analyse PCM 3.0                                     #
# Visuelle Realaufgabe: Listensuche                         #
# Listeneintrag 'KÖLN' suchen und auswählen               #
#####
goal of Listensuche.

#####
# Listensuche #
#####
Method for goal: Listensuche.
Step 1. Retain that the command is Titelliste and accomplish goal
[ Titelliste ] auswählen.
Step 2. Retain that the item is 'KÖLN' and accomplish goal
[KÖLN] auswählen.
Step 3. Return with goal accomplished.

#####
```

```
# [Titelliste] auswählen #
#####
Method for goal: [Titelliste] auswählen.
Step 1. Retain that the softkey is [Titelliste].
Step 2. Find softkey item [Titelliste] and retain item position.
Step 3. Recall item position and move hand to item position.
Step 4. Forget item position and press softkey.
Step 5. Verify correct [Titelliste] auswählen.
Step 6. Return with goal accomplished.
```

```
#####
# [KÖLN] auswählen #
#####
Method for goal: [KÖLN] auswählen.
Step 1. Retain that the softkey is [KÖLN].
Step 2. Find softkey item [KÖLN] and retain item position.
Step 3. Recall item position and move hand to item position.
Step 4. Forget item position and press softkey.
Step 5. Verify correct [KÖLN] auswählen.
Step 6. Return with goal accomplished.
```

```
#####
# GOMS-Analyse PCM 3.0 #
# Kognitive Realaufgabe: Route planen #
# Navigationsziel 'KÖLN' eingeben und #
# Tankstelle auf der Route nach Köln hinzufügen #
#####
goal of Route planen.

#####
# Route planen #
#####
Method for goal: Route planen.
Step 1. Retain that Route planen starts with Adresseingabe and accomplish goal: Adresseingabe.
Step 2. Retain that Route planen continues with Zielführung starten auswählen and accomplish goal: Zielführung starten auswählen.
Step 3. Retain that Route planen continues with Zwischenziel Tankstelle hinzufügen and accomplish goal: Zwischenziel Tankstelle hinzufügen.
Step 4. Retain that Route planen continues with Zielführung starten auswählen and accomplish goal: Zielführung starten auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# Adresseingabe #
#####
Method for goal: Adresseingabe.
Step 1. Retain that the section is NAVI and accomplish goal:
Sektion <NAVI> auswählen.
step 2. Retain that Adresseingabe starts with Adresseingabe auswählen and accomplish goal: Adresseingabe auswählen.
Step 3. Retain that Adresseingabe continues with Land auswählen and accomplish goal: Land auswählen.
Step 4. Retain that Adresseingabe continues with Stadt auswählen and accomplish goal: Stadt auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# Adresseingabe auswählen #
#####
Method for goal: Adresseingabe auswählen.
Step 1. Retain that the command is Adresseingabe and accomplish goal:
[Adresseingabe] auswählen.
```

Step 2. Return with goal accomplished.

[Adresseingabe] auswählen #
#####

Method for goal: [Adresseingabe] auswählen.

- Step 1. Retain that the softkey is [Adresseingabe].
- Step 2. Find softkey item [Adresseingabe] and retain item position.
- Step 3. Recall item position and move hand to item position.
- Step 4. Forget item position and press softkey.
- Step 5. Verify correct [Adresseingabe] auswählen.
- Step 6. Return with goal accomplished.

#####

Land auswählen

#####

Method for goal: Land auswählen.

- Step 1. Retain that the command is Land and accomplish goal: [Land] auswählen.
- Step 2. Retain that the item is 'Deutschland' and accomplish goal: [Deutschland] auswählen.
- Step 3. Return with goal accomplished.

#####

[Land] auswählen

#####

Method for goal: [Land] auswählen.

- Step 1. Retain that the softkey is [Land].
- Step 2. Find softkey item [Land] and retain item position.
- Step 3. Recall item position and move hand to item position.
- Step 4. Forget item position and press softkey.
- Step 5. Verify correct [Land] auswählen.
- Step 6. Return with goal accomplished.

#####

[Deutschland] auswählen

#####

Method for goal: [Deutschland] auswählen.

- Step 1. Find softkey item [Deutschland] and retain item position.
- Step 2. Recall item position and move retain item position.
- Step 3. Forget item position and press item.
- Step 4. Verify correct [Deutschland] auswählen.
- Step 5. Return with goal accomplished.

#####

Stadt auswählen

#####

Method for goal: Stadt auswählen.

- Step 1. Retain that the command is Stadt/PLZ and accomplish goal: [Stadt/PLZ] auswählen.
- Step 2. Retain that the item is 'KÖLN' and accomplish goal: Buchstabieren des Zielortes 'KÖLN'.
- Step 3. Return with goal accomplished.

#####

[Stadt/PLZ] auswählen

#####

Method for goal: [Stadt/PLZ] auswählen.

- Step 1. Retain that the softkey is [Stadt/PLZ].
- Step 2. Find softkey item [Stadt/PLZ] and retain item position.
- Step 3. Recall item position and move hand to item position.
- Step 4. Forget item position and press softkey.
- Step 5. Verify correct [Stadt/PLZ] auswählen.
- Step 6. Return with goal accomplished.


```
#####
# Buchstabieren des Zielortes 'KÖLN' #
#####
Method for goal: Buchstabieren des Zielortes 'KÖLN'.
Step 1. Think of the spelling of 'KÖLN'.
Step 2. Retain that 'KÖLN' starts with 'K' and accomplish goal:
        [K] auswählen.
Step 3. Retain that 'KÖLN' continues with 'Ö' and accomplish goal:
        [Ö] auswählen.
Step 4. Retain that 'KÖLN' continues with 'L' and accomplish goal:
        [L] auswählen.
Step 5. Retain that 'KÖLN' continues with 'N' and accomplish goal:
        [N] auswählen.
Step 6. Return with goal accomplished.

#####
# [K] auswählen #
#####
Method for goal: [K] auswählen.
Step 1. Find softkey item [K] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move hand to item position.
Step 3. Forget item position and press softkey.
Step 4. Verify correct [K] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# [Ö] auswählen #
#####
Method for goal: [Ö] auswählen.
Step 1. Find softkey item [Ö] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move hand to item position.
Step 3. Forget item position and press softkey.
Step 4. Verify correct [Ö] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# [L] auswählen #
#####
Method for goal: [L] auswählen.
Step 1. Find softkey item [L] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move hand to item position.
Step 3. Forget item position and press softkey.
Step 4. Verify correct [L] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# [N] auswählen #
#####
Method for goal: [N] auswählen.
Step 1. Find softkey item [N] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move hand to item position.
Step 3. Forget item position and press softkey.
Step 4. Verify correct [N] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# Zwischenziel Tankstelle hinzufügen #
#####
Method for goal: Zwischenziel Tankstelle hinzufügen.
Step 1. Retain that Zwischenziel Tankstelle hinzufügen starts with
        Zwischenziel hinzufügen.
Step 2. Retain that 'Tankstelle' is Sonderziel and accomplish goal:
        Sonderzieleingabe.
Step 3. Return with goal accomplished.
```

```

#####
# Zwischenziel hinzufügen #
#####
Method for goal: Zwischenziel hinzufügen.
Step 1. Retain that the section is NAVI and accomplish goal:
        Sektion <NAVI> auswählen.
Step 2. Retain that the section is OPTION and accomplish goal:
        Sektion <OPTION> auswählen.
Step 3. Retain that the command is Hinzufügen and accomplish goal:
        [Hinzufügen] auswählen.
Step 4. Return with goal accomplished.

#####
# [Hinzufügen] auswählen #
#####
Method for goal: [Hinzufügen] auswählen.
Step 1. Retain that the softkey is [Hinzufügen].
Step 2. Find softkey item [Hinzufügen] and retain item position.
Step 3. Recall item position and move hand to item position.
Step 4. Forget item position and press softkey.
Step 5. Verify correct [Hinzufügen] auswählen.
Step 6. Return with goal accomplished.

#####
# Sonderzeileingabe #
#####
Method for goal: Sonderzeileingabe.
Step 1. Retain that the command is Sonderziele and accomplish goal:
        [Sonderziele] auswählen.
Step 2. Retain that the command is Kategorie and accomplish goal:
        Kategorie auswählen.
Step 3. Retain that the command is Suchgebiet and accomplish goal:
        Suchgebiet auswählen.
Step 4. Return with goal accomplished.

#####
# [Sonderziele] auswählen #
#####
Method for goal: [Sonderziele] auswählen.
Step 1. Find softkey item [Sonderziele] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move hand to item position.
Step 3. Forget item position and press softkey.
Step 4. Verify correct [Sonderziele] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# Kategorie auswählen #
#####
Method for goal: Kategorie auswählen.
Step 1. Accomplish goal: [Kategorie] auswählen.
Step 2. Retain that the item is 'TANKSTELLE' and accomplish goal:
        [TANKSTELLE] auswählen.
Step 3. Retain that the item is 'Alle auswählen' and accomplish goal:
        [Alle auswählen] auswählen.
Step 4. Return with goal accomplished.

#####
# [Kategorie] auswählen #
#####
Method for goal: [Kategorie] auswählen.
Step 1. Find softkey item [Kategorie] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move hand to item position.
Step 3. Forget item position and press softkey.
Step 4. Verify correct [Kategorie] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

```

```

#####
# [TANKSTELLE] auswählen #
#####
Method for goal: [TANKSTELLE] auswählen.
Step 1. Find softkey item [TANKSTELLE] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move retain item position.
Step 3. Forget item position and press item.
Step 4. Verify correct [TANKSTELLE] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# [Alle auswählen] auswählen #
#####
Method for goal: [Alle auswählen] auswählen.
Step 1. Find softkey item [Alle auswählen] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move retain item position.
Step 3. Forget item position and press item.
Step 4. Verify correct [Alle auswählen] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# Suchgebiet auswählen #
#####
Method for goal: Suchgebiet auswählen.
Step 1. Accomplish goal: [Suchgebiet] auswählen.
Step 2. Retain that the item is 'Entlang Route' and accomplish goal:
        [Entlang Route] auswählen.
Step 3. Retain that the item is 'beliebiger Eintrag' and accomplish
        goal: [beliebiger Eintrag] auswählen.
Step 4. Return with goal: accomplished.

#####
# [Suchgebiet] auswählen #
#####
Method for goal: [Suchgebiet] auswählen.
Step 1. Find softkey item [Suchgebiet] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move retain item position.
Step 3. Forget item position and press item.
Step 4. Verify correct [Suchgebiet] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# [Entlang Route] auswählen #
#####
Method for goal: [Entlang Route] auswählen.
Step 1. Find softkey item [Entlang Route] and retain item position.
Step 2. Recall item position and move retain item position.
Step 3. Forget item position and press item.
Step 4. Verify correct [Entlang Route] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# [beliebiger Eintrag] auswählen #
#####
Method for goal: [beliebiger Eintrag] auswählen.
Step 1. Find softkey item [beliebiger Eintrag] and retain item
        position.
Step 2. Recall item position and move retain item position.
Step 3. Forget item position and press item.
Step 4. Verify correct [beliebiger Eintrag] auswählen.
Step 5. Return with goal accomplished.

#####
# Sektion <Navi> auswählen #

```

```

#####
Method for goal: Sektion <NAVI> auswählen.
Step 1. Retain that the hardkey is <NAVI>.
Step 2. Find hardkey item <NAVI> and retain item position.
Step 3. Recall item position and move hand to item position.
Step 4. Forget item position and press hardkey.
Step 5. Verify correct Sektion <NAVI> auswählen.
Step 6. Return with goal accomplished.

#####
# Sektion <OPTION> auswählen #
#####
Method for goal: Sektion <OPTION> auswählen.
Step 1. Retain that the hardkey is <OPTION>.
Step 2. Find hardkey item <OPTION> and retain item position.
Step 3. Recall item position and move hand to item position.
Step 4. Forget item position and press hardkey.
Step 5. Verify correct Sektion <OPTION> auswählen.
Step 6. Return with goal accomplished.

#####
# Zielführung starten auswählen #
#####
Method for goal: Zielführung starten auswählen.
Step 1. Retain that the command is Start Zielführung and accomplish
goal: [Start Zielführung] auswählen.
Step 2. Return with goal accomplished.

#####
# [Start Zielführung] auswählen #
#####
Method for goal: [Start Zielführung] auswählen.
Step 1. Retain that the softkey is [Start Zielführung].
Step 2. Find softkey item [Start Zielführung] and retain item
position.
Step 3. Recall item position and move hand to item position.
Step 4. Forget item position and press softkey.
Step 5. Verify correct [Start Zielführung] auswählen.
Step 6. Return with goal accomplished.

```

A.4.2 Primäraufgabe

Entscheidungszeiten

Tabelle A.41

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der mittleren Entscheidungszeiten M in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Versuchsbedingung

	A-V1	A-V2	A-K	R-K	R-V
A-V1		-18.021	-69.927	-62.257	-33.853
A-V2	18.021		-51.906	-44.236	-15.832
A-K	69.927	51.906		7.670	36.073
R-K	62.257	44.236	-7.670		28.403
R-V	33.853	15.832	-36.073	-28.403	

Tabelle A.42

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Standardabweichungen der Entscheidungszeiten SD in der Primäraufgabe in ms, getrennt nach Versuchsbedingung

	A-V1	A-V2	A-K	R-K	R-V
A-V1		8.753	-122.626	89.207	-39.01
A-V2	-8.753		-131.378	80.454	-47.769
A-K	122.626	131.378		211.833	83.609
R-K	-89.207	-80.454	-211.833		-128.224
R-V	39.017	47.769	-83.609	128.224	

Entscheidungsfehler

Tabelle A.43

Mittlere Differenzen der paarweisen Vergleiche der Anzahl Entscheidungsfehler in der Primäraufgabe, getrennt nach Versuchsbedingung

	A-V1	A-V2	A-K	R-K	R-V
A-V1		-.231	-.538	-.192	.231
A-V2	.231		-.308	.038	.462
A-K	.538	.308		.346	.769
R-K	.192	-.038	-.346		.423
R-V	-.231	-.462	-.769	-.423	

A.4.3 Zweitaufgaben

Visuelle Suche

Tabelle A.44

Deskriptive Statistik der mittleren Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche in ms ($N = 26$)

Bedingung	min.	max.	M	SD
Visuelle Suche einfach (A-V1)				
Baseline A-V1	996.50	1542.30	1280.19	124.55
A-V1	1199.92	1734.86	1443.27	128.71
Visuelle Suche schwer (A-V2)				
Baseline A-V2	1600.50	3074.44	2204.15	325.03
A-V2	1778.07	2693.38	2365.48	209.81

Tabelle A.45

Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Visuelle Suche ($N = 26$)

Bedingung	min.	max.	M	SD
Visuelle Suche einfach (A-V1)				
Baseline A-V1	.00	1.00	.12	.33
A-V1	.00	.20	.04	.08
Visuelle Suche schwer (A-V2)				
Baseline A-V2	.00	3.00	.58	.76
A-V2	.00	2.00	1.15	.56

Tabelle A.46

Mittelwertvergleiche der Antwortzeiten richtiger Antworten der Aufgabe Visuelle Suche in ms (A-V1, A-V2)

Vergleich			T -Test
Doppelaufgabendekrement			
Baseline A-V1	mit	A-V1	$T(25) = 7.487, p < .001$
Baseline A-V2	mit	A-V2	$T(25) = 3.233, p = .003$
Aufgabenschwierigkeit			
Baseline A-V1	mit	Baseline A-V2	$T(25) = -14.204, p < .001$
A-V1	mit	A-V2	$T(25) = -30.632, p < .001$

Tabelle A.47

Mittelwertvergleiche der Anzahl falscher Antworten der Aufgabe Visuelle Suche (A-V1, A-V2)

Vergleich			<i>T</i> -Test
Doppelaufgabendekrement			
Baseline A-V1	mit	A-V1	$T(25) = -1.124, p = .272$
Baseline A-V2	mit	A-V2	$T(25) = 3.356, p = .003$
Aufgabenschwierigkeit			
Baseline A-V1	mit	Baseline A-V2	$T(25) = -2.900, p = .008$
A-V1	mit	A-V2	$T(25) = -9.553, p < .001$

Listensuche

Tabelle A.48

Deskriptive Statistik der mittleren Bearbeitungszeiten der Aufgabe Listensuche in ms ($N = 25$)

Bedingung	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Baseline 1	23165.00	100265.00	46419.68	13790.82
R-V	20984.20	91807.80	44097.33	14491.82
Baseline 2	13593.00	108522.00	38335.60	23037.09

Logisches Schließen

Tabelle A.49

Deskriptive Statistik der mittleren Antwortzeit richtiger Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen in ms ($N = 26$)

Bedingung	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Baseline	383.71	1677.14	792.22	264.44
A-K	776.31	1603.06	1212.79	230.82

Tabelle A.50

*Deskriptive Statistik der mittleren Anzahl falscher Antworten in der Aufgabe Logisches Schließen
(N = 26)*

Bedingung	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Baseline	.00	2.00	.12	.44
A-K	.00	1.60	.29	.40

Routenplanung

Tabelle A.51

Deskriptive Statistik der mittleren Bearbeitungszeiten der Aufgabe Routenplanung in ms (N = 25)

Bedingung	min.	max.	<i>M</i>	<i>SD</i>
Baseline 1	31697.00	108287.00	44071.80	14559.35
R-K	26798.80	72953.20	46571.93	11665.73
Baseline 2	21457.75	51017.00	35777.79	6697.17